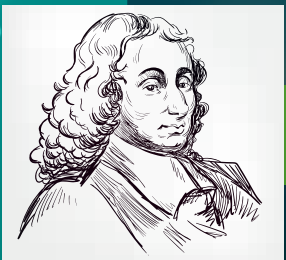
Revue des
QUESTIONS SCIENTIFIQUES

ISSN 0035-2160

Actualité, histoire et philosophie des sciences

Tome 192 - 2021 - N°1-2



Comparaison des incomparables - p. 7

Théorie quantique & probabilités - p. 93

Pandémies & dangers globaux - p. 117

Bureau de dépôt : B 5310 Éghezée – Agréation n°P207124

RÉDACTEUR EN CHEF :

Jean-François Stoffel

Haute école Louvain-en-Hainaut – Domaine de la santé
Rue Trieu Kaisin, 136 – 6061 Montignies-sur-Sambre – Belgique
Courriel : stoffeljf@helha.be

GESTIONNAIRE ADMINISTRATIVE :

Véronique Orose

Université de Namur
Rue de Bruxelles, 61
BE 5000 Namur
Courriel : veronique.orose@unamur.be

WEBMASTER :

Loris Rossi
Courriel : loris.rossi@outlook.com

Michael Mattiello
Courriel : michael.mattiello@outlook.com

Haute école Louvain-en-Hainaut

SITE INTERNET :

http://www.rqs.be

ADMINISTRATEURS DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES :

**Jean-Pierre Antoine - Édouard Bouffioulx - Michel Crucifix - Guy Demortier (secrétaire général)
Pierre Devos (vice-président) - Bertrand Hespel - Dominique Lambert - Muriel Lepère
Vincent Ligot - Patricia Radelet-de Grave (présidente) - Jean-François Stoffel**

Fondée en 1877 par la Société scientifique de Bruxelles, *la Revue des questions scientifiques* est une publication périodique trimestrielle toujours publiée par ladite Société, avec le soutien du domaine de la santé de la Haute école Louvain-en-Hainaut et de l'Université de Namur. Pluridisciplinaire et francophone, elle est une revue de haute vulgarisation scientifique, consacrée aux sciences, y compris leur actualité, leur histoire, leur philosophie et leur impact sociétal. Elle est membre de l'Association des revues scientifiques et culturelles de Belgique. Tous les manuscrits reçus sont soumis à un comité de lecture constitué d'au minimum deux experts. En fin d'année, leur nom est publié dans la Revue.

La Revue est systématiquement dépouillée par le CISMeF, l'*Index Religiosus*, l'*Index Theologicus*, le *Répertoire bibliographique de la philosophie / International Philosophical Bibliography*.

© Tous les droits de reproduction, de traduction et d'adaptation sont réservés à la Société Scientifique de Bruxelles pour tous les pays.

Tome 192 2021

Revue des Questions Scientifiques

Actualité, histoire et philosophie des sciences

organe de la
Société scientifique de Bruxelles

publié avec le soutien du
Domaine de la santé de la
Haute école Louvain-en-Hainaut
et de
l'Espace philosophique de Namur
de l'Université de Namur

Table des matières

João F. N. B. Cortese 7

L'analogie de disproportion et la « pondération » des indivisibles : deux formes de comparaison des incomparables chez Blaise Pascal [= The analogy of disproportion and the "weighing" of indivisibles: two ways of comparing incomparables in the work of Blaise Pascal]

Eve-Aline Dubois 69

1937 : Année de l'hypothèse des grands nombres [= 1937: Year of the large numbers hypothesis]

Louis Marchildon 93

À propos du lien entre la théorie quantique et les probabilités [= Concerning the relationship between quantum theory and probability]

Doru Georg Margineanu 117

L'humanité confrontée à son bug : les pandémies parmi les dangers globaux [= Humanity versus the bug: pandemics feature among global hazards]

Valérie Tilman 137

Propriété intellectuelle, soutenabilité et biens communs à l'ère de la crise écologique globale et de la COVID-19 (1re partie) [= Intellectual property, sustainability and common goods in this era of global ecological crisis and COVID-19 (Part 1)]

Analyses critiques

Anne Tihon 185

De Babylone à Alexandrie, d'Alexandrie à Rome : l'astronomie « hellénistique » [= From Babylon to Alexandria, from Alexandria to Rome: "Hellenistic" astronomy]

Fabio Acerbi 193

L'édition critique du « Liber Abbaci » de Fibonacci [= The critical edition of Fibonacci's "Liber Abbaci"]

Jean-Robert ARMOGATHE 199

La « fabrique du monde », de Copernic à Descartes [= The "creation of the world", from Copernicus to Descartes]

Jean MAWHIN 207

La guerre des maths a bien eu lieu [= The maths war did indeed take place]

Comptes rendus

Histoire des sciences **213**

Mathematikos : vies et découvertes des mathématiques en Grèce et à Rome / textes réunis et présentés par Antoine HOULOU-GARCIA (Jean Dhombres). WEILL-PAROT (Nicolas), *Le vol dans les airs au Moyen Âge : essai historique sur une utopie scientifique* (Philippe Debroise). NICOLLE (Jean-Marie), *Le laboratoire mathématique de Nicolas de Cues* (Godofredo Iommi Amunátegui). GAUKROGER (Stephen), *Civilization and the Culture of Science : Science and the Shaping of Modernity : 1795-1935* (Giorgio Matteoli). HAROCHE (Serge), *La Lumière révélée : de la lunette de Galilée à l'étrangeté quantique* (Jean-Pierre Antoine). COURANT (Elsa), *Poésie et cosmologie dans la seconde moitié du XIXe siècle : nouvelle mythologie de la nuit à l'ère du positivisme* (Jean-François Stoffel). PEEBLES (Philip James Edwin), *Cosmology's Century : an Inside History of Our Modern Understanding of the Universe* (Thomas Lepeltier).

Philosophie des sciences **229**

MITCHELL (Sam), *Fault-tracing Against Quine-Duhem : A Defense of the Objectivity of Scientific Justification* (Youri Cabot).

Sciences et philosophies **230**

Médecins et philosophes : une histoire / sous la direction de Claire CRIGNON et David LEFEBVRE (Jean Andris). WOLFE (Charles), *La philosophie de la biologie avant la biologie : une histoire du vitalisme* (Pierre Devos).

Sciences et religions **235**

BOCCALETTI (Dino), *The Waters Above the Firmament : An Exemplary Case of Faith-Reason Conflict* (Jean-François Stoffel). FINOCCHIARO (Maurice A.), *On Trial for Reason : Science, Religion, and Culture in the Galileo Affair* (Pablo Rubén Mariconda). HELLER (Michael), *God and Geometry : When Space Was God* (Jean-Michel Maldamé). Sider (Théodore), *The Tools of Metaphysics and the Metaphysics of Science* (Jean-Michel Maldamé).

Sciences et société **244**

RAVEZ (Laurent), *Introduction à l'éthique de la santé publique* (Geoffroy De Brabanter).

Mathématiques **246**

CARASSUS (Laurence), *Probabilités : licence 3 & master 1 ; capes et agrégation ; écoles d'ingénieurs ; cours complet ; fiches de synthèse ; 91 exercices et problèmes corrigés* (Jean Dhombres).

Astronomie et cosmologie **247**

DANIEL (Jean-Yves) & PETER (Patrick), *Cosmologie : la science de l'univers* (Jean-René Roy). SPAGNOU (Pierre), *Le trésor des ondes gravitationnelles* (Jean-René Roy).

Physique **250**

AL-KHALILI (Jim), *The World According to Physics* (Jean-Pierre Antoine).

Sciences de la Terre **251**

PAUGY (Didier) - LÉVÊQUE (Christian), *Le lac Victoria : un écosystème bouleversé par l'Homme* (Jean-Claude Micha).

Sciences médicales **252**

AGUR (Anne M. R.) & DALLEY (Arthur F.), *Atlas d'anatomie de Grant* (Pierre Devos).

Sciences de l'homme **253**

OTTE (Marcel), *Sommes-nous si différents des hommes préhistoriques ? Pour une nouvelle alliance avec la nature* (Marie d'Udekem-Gevers).

La Rédaction de la *Revue des Questions Scientifiques* remercie les experts sollicités tout au long de l'année 2020, à savoir :

Carlyne Arnould (*Haute école Louvain-en-Hainaut*) — Thomas Boyer-Kassem (*Université de Poitiers*) — Virgil Bru (*Haute école Louvain-en-Hainaut & University College of Osteopathy*) — Fabien Buisseret (*Haute école Louvain-en-Hainaut*) — Johan Corijn (*Haute école Louvain-en-Hainaut*) — Luc Courtois (*Université catholique de Louvain*) — Philippe Dejaive (*Athénée royal d'Andenne*) — Alain Dierkens (*Université libre de Bruxelles*) — Anne-Myriam Dutrieue (*Haute école Louvain-en-Hainaut*) — François Euvé (*Centre Sèvres, Paris*) — Fabrice Ferlin (*Université Claude Bernard, Lyon 1*) — Juliette Ferry-Danini (*Sorbonne Université*) — Véronique Fillieux (*Université catholique de Louvain*) — Marie Gevers (*Université de Namur*) — Béatrice Gobbe (*Haute école Louvain-en-Hainaut*) — Jan Govaerts (*Université catholique de Louvain*) — Bertrand Hespel (*Université de Namur*) — Godofredo Iommi Amunátegui (*Pontificia universidad católica de Valparaíso*) — Georges Kazan (*Turku Institute for Advances Studies, Finland, & University of Oxford*) — Dominique Lambert (*Université de Namur*) — Hervé Le Ferrand (*Université de Bourgogne*) — Jean Lempire (*Université catholique de Louvain*) — Thomas Lepeltier (*chercheur indépendant*) — Jean-Michel Maldamé (*Académie pontificale des sciences & Académie internationale des sciences religieuses*) — Jean Mawhin (*Université catholique de Louvain*) — Liliane Moens-Haulotte (*Université catholique de Louvain*) — Efthymios Nicolaidis (*Fondation nationale de recherche hellénique*) — Jean-René Roy (*Université Laval*) — Bertrand Souchard (*Université catholique de Lyon*) — Jean-François Stoffel (*Haute école Louvain-en-Hainaut*) — Geert Vanpaemel (*Katholieke Universiteit Leuven*) — Cyril Verdet (*Observatoire de Paris, SYRTE*).

Prochainement

Cyril Verdet
Les lois du mouvement dans l'œuvre d'Auguste Comte

Jean Mawhin
Soude et critique des fondements de la physique : il convient d'être caustique !

Danielle Fauque
L'industriel et les savants : à propos d'une étude des Conseils Solvay

Découvrez ces textes sur la première page de notre site, rubrique « les publications à venir »

Revue des Questions Scientifiques, 2021, 192 (1-2) : 7-67

L'analogie de disproportion et la « pondération » des indivisibles

Deux formes de comparaison des incomparables chez Blaise Pascal

João F. N. B. Cortese
Universidade de São Paulo &
Laboratoire SPHERE (CNRS & Université de Paris)
joaocortese@gmail.com

Résumé. – Blaise Pascal est amplement reconnu comme un auteur de la disproportion. Aussi bien dans les *Pensées* que dans ses ouvrages mathématiques, il est en effet question de distances infinies et d'hétérogénéité. Ainsi, l'opuscule *De l'esprit géométrique* rappelle qu'un indivisible peut être multiplié autant que l'on veut, sans pour autant jamais constituer une extension. De même, la condition de l'homme, qui « n'est qu'un roseau, le plus faible de la nature », fait que son esprit s'*anéantisse* devant Dieu. Néanmoins, une analyse approfondie du langage employé par Pascal permet de retrouver des comparaisons entre ce qui, à première vue, semblerait incomparable, et ce aussi bien dans les mathématiques que dans le discours religieux et philosophique. Le présent essai propose une lecture de ces comparaisons chez Pascal. En rapport avec le langage pascalien, la forme d'« analogie de disproportion » est présentée : il s'agit de soutenir que deux choses sont aussi différentes que deux autres, révélant une similitude entre des dissemblances. C'est ainsi que Pascal peut établir une certaine comparaison entre l'indivisible et l'extension, d'une part, et entre le zéro et les nombres, d'autre part. Cette perspective de comparaisons permet de voir que, bien qu'il existe une dissemblance toujours plus grande entre le fini de la créature et l'infini du Créateur, on peut néanmoins en dire quelque chose, quoique par le moyen de comparaisons. Dans la pratique mathématique pascalienne finalement, en l'occurrence dans les *Lettres de A. Dettonville*, on peut identifier, au sein de la méthode des indivisibles, des comparaisons entre des portions issues de divisions indéfinies des grandeurs considérées, ce qui est fait par le modèle d'une balance.

ABSTRACT. – Blaise Pascal is widely recognised as an author of the 'disproportionate'. Both in his *Pensées* and his mathematical works, he deals with infinite distances and heterogeneity. His *De l'esprit géométrique*, therefore, serves as a reminder that one can multiply an indivisible indefinitely and yet never form an extension. In the same way, the condition of man, who is "but a reed, the feeblest thing in nature", is such that his spirit is entirely *annihilated* in presence of God. However, an in-depth analysis of Pascal's use of language allows us to draw comparisons — as much in his mathematics as in his religious and philosophical writing — between ideas that would otherwise seem incomparable at first glance. This essay proposes an interpretation of these comparisons in Pascal's work. With respect to Pascalian language, the form of "analogy of disproportion" is presented: the argument that two things are as different with respect to each other as they are to two other things, thereby revealing a similarity in their dissimilarities. This is how Pascal is able to draw a certain comparison between the indivisible and the extension, on the one hand, and between zero and numbers, on the other hand. This perspective of comparisons allows us to grasp the fact that, although there is an ever-increasing dissimilarity between the finite creature and the infinite Creator, there is nonetheless something to be said, albeit by means of comparisons. In Pascal's mathematical approach, such as contained in the *Lettres de A. Dettonville*, one can ultimately identify, within the method of indivisibles, comparisons between those parts derived from indefinite divisions of the magnitudes under consideration, which is carried out using a scales model.

MOTS-CLÉS. – Analogie — Disproportion — Indivisibles — Infini — Pascal, Blaise

Plan de l'article

1. **Introduction : la comparaison chez Pascal**
   - 1.1. **Les relations entre les différents domaines de la pensée de Pascal**
   - 1.2. **Une analyse du langage**
2. **L'analogie de disproportion**
   - 2.1. **Une analogie entre des disproportions**
   - 2.2. **Inégalité ou équivalence des disproportions ?**
3. **Le *De l'esprit géométrique***
   - 3.1. **Au-delà d'Euclide : comparer des hétérogènes**
   - 3.2. **Ce qui garde l'unité est l'infini**
4. **Comparer des indivisibles**
   - 4.1. **La méthode pascalienne des indivisibles**
   - 4.2. **L'indéfini équilibré sur une balance**
5. **Où se comparer à l'infini mène-t-il ?**
   - 5.1. **À la ressemblance et à la dissemblance**
   - 5.2. **La dissemblance toujours plus grande**
6. **Conclusions**
7. **Remerciements**
8. **Bibliographie**

1. Introduction : la comparaison chez Pascal[1]

Auteur de la disproportion, Pascal conçoit bien l'infini comme quelque chose qui nous dépasse en tant qu'êtres finis, et dont on ne peut pas proprement parler. En cela, il rejoint une bonne partie de la tradition chrétienne. D'autre part, Pascal croit que l'indivisible en mathématiques ne peut pas être atteint par le moyen de divisions successives, car il est hétérogène à l'extension. Serait-ce dire qu'il n'est pas possible de faire référence à l'infini et aux indivisibles ? Nous ne le croyons pas : dans l'œuvre de Pascal, on peut observer l'existence de comparaisons qui, quoiqu'elles ne saisissent pas l'insaisissable, peuvent indirectement nous diriger vers ces éléments qui transcendent le fini.

Dans cet article, nous essayerons de monter que cette position sur les possibilités du langage a des implications autant pour la conception pascalienne de l'homme devant Dieu que pour ses mathématiques, notamment pour sa méthode des indivisibles.

1.1. Les relations entre les différents domaines de la pensée de Pascal

Nous avons annoncé qu'on retrouve des comparaisons entre ce qui semblerait incomparable dans plus d'un domaine de la pensée de Pascal — notamment dans ses mathématiques et dans la conception religieuse présente dans ses *Pensées*. Mais comment les différents domaines de la pensée pascalienne se rapportent-ils ?

Dans l'opuscule *De l'esprit géométrique*, après avoir conclu que les deux infinis, de grandeur et de petitesse, « quoique infiniment différents, sont néanmoins relatifs l'un à l'autre, de telle sorte que la connaissance de l'un mène nécessairement à la connaissance de l'autre », Pascal déclare que l'homme, étant placé entre ces deux infinis, « peut apprendre à s'estimer à son juste prix, et former des réflexions qui valent mieux que tout le reste de la géométrie » (OC III, p. 411)[2]. L'homme doit aller au-delà de la géométrie pour s'estimer

1. Cet article prend comme point de départ quelques chapitres de la thèse que j'ai soutenue le 30 octobre 2017 avec le titre *L'infini en poids, nombre et mesure : la comparaison des incomparables dans l'œuvre de Blaise Pascal* (Université de Paris 7 — Denis Diderot & Universidade de São Paulo), sous la direction de David Rabouin et Luís César Guimarães Oliva.
2. L'édition des *Œuvres complètes* de Pascal par J. Mesnard (Pascal 1964-1992) est citée par *OC*, suivie du numéro du volume et de la page. Les *Pensées* sont citées à partir de l'édition électronique de D. Descotes et G. Proust (2011), l'édition de P. Sellier (Pascal 2000) étant

à son juste prix, mais comment prendre pour point de départ un domaine comme la géométrie pourrait-il conduire l'homme à une connaissance essentielle sur lui-même ? Des réflexions mathématiques pourraient-elles constituer, dans un certain sens, une propédeutique à la philosophie ou à la foi ?

Dans les *Pensées*, on peut trouver des passages où Pascal dénie aux mathématiques toute utilité directe pour le salut de l'homme :

> « je n'entreprendrai pas ici de prouver par des raisons naturelles, ou l'existence de Dieu, ou la Trinité, ou l'immortalité de l'âme, ni aucune des choses de cette nature ; non seulement parce que je ne me sentirais pas assez fort pour trouver dans la nature de quoi convaincre des athées endurcis, mais encore parce que cette connaissance sans Jésus-Christ est inutile et stérile. Quand un homme serait persuadé que les proportions des nombres sont des vérités immatérielles, éternelles et dépendantes d'une première vérité en qui elles subsistent et qu'on appelle Dieu, je ne le trouverais pas beaucoup avancé pour son salut » (Sel. 690, Laf. 449).

Dans ce célèbre fragment sur la connaissance de Dieu et de la misère de l'homme, Pascal dit nettement que « le Dieu des chrétiens ne consiste pas en un Dieu simplement auteur des vérités géométriques et de l'ordre des éléments ». Par ailleurs, Pascal ne veut en aucune façon démontrer la vérité du christianisme par les mathématiques. Est-ce à dire qu'il n'y a pas de rapport entre les mathématiques de Pascal et le reste de son œuvre, sa conversion vers un mysticisme éliminant toute relation avec ses travaux scientifiques ?

Nous croyons que tourner notre attention vers les comparaisons faites par Pascal peut rendre compte d'une intéressante liaison entre ces domaines de la pensée : s'il est vrai que Pascal lui-même a marqué une rupture entre science et religion, on peut néanmoins lire son œuvre comme indiquant des relations entre les mathématiques et la pensée religieuse et « philosophique »[3] — étant entendu que « relation » ne signifie pas indistinction, mais rapport entre des différences. Pascal ne cherche pas *simplement* un Dieu auteur des vérités géo-

aussi consultée. La numérotation des fragments est donnée selon les éditions de Sellier (Sel.) et Lafuma (Laf.).

3. Nous parlons de « philosophie » chez Pascal dans un sens ample : Pascal est quelqu'un qui a écrit que « se moquer de la philosophie c'est vraiment philosopher » (Sel. 671, Laf. 513), et ses écrits ne sont pas des traités, ni philosophiques ni théologiques. Les *Provinciales* apparaissent sur commande, et comme une réponse à l'expulsion d'Arnauld de la Sorbonne. Quant aux *Pensées*, on sait que la plupart de ses fragments étaient destinés à constituer une apologie de la religion chrétienne, et la manière dont ils nous sont parvenus pose un défi constant aux éditeurs.

métriques et de l'ordre des éléments, mais cela ne veut pas dire qu'il ne reconnaîtrait pas Dieu comme cet auteur, bien que cela ne soit pas ce qu'il faille considérer d'abord pour le salut de l'homme.

À propos de la différence d'ordres qui apparaît par exemple dans *Infini rien* (Sel. 680, Laf. 418), H. U. von Balthasar écrit :

> « Le problème de la mesure de la distance a torturé Pascal. Il devait pourtant devenir son problème propre, exactement fait pour lui. Lui, le théologien augustinien qui sait que toutes les élévations de puissance d'ordre inférieur ne peuvent jamais produire la moindre valeur dans un ordre supérieur, et qui a découvert d'abord ce thème théologique dans le domaine géométrique, il lui incombera d'établir le rapport qui existe entre les ordres ainsi séparés et de tracer les voies qui permettent de le calculer » (von Balthasar, 1972, pp. 92-93).

Il est certain que Pascal sait séparer le domaine géométrique de la religion (Sel. 690, Laf. 450). Mais il est tout aussi certain que Pascal repère des schèmes qui se répandent vers plusieurs branches de son œuvre, notamment dans l'exemple évoqué par von Balthasar : la négligeabilité d'un élément face à un ordre supérieur est pour Pascal un fait qui apparaît aussi bien dans les mathématiques que dans les ordres de l'existence (Sel. 339, Laf. 309). Pour ces comparaisons qui ne sembleraient pas pouvoir être faites, il n'y a qu'une chose qui peut les relier, quoique cela soit inattendu : l'infini (voir section 3).

J. Mesnard, le plus récent éditeur des œuvres complètes de Pascal, écrivait dans la conclusion d'un article de sa maturité sur le rapport entre figure géométrique et construction philosophique chez Pascal :

> « Une question de la plus grande portée serait encore à examiner. Quelle est la valeur de cette application de la géométrie à la philosophie ? S'agit-il, non pas d'un simple jeu, mais d'une démarche de type métaphorique, s'attachant à des ressemblances de caractère accessoire, sans engager de relation essentielle ? La difficulté est beaucoup plus complexe qu'on ne pourrait le croire. Elle se situe aux frontières de la linguistique et de la métaphysique. Réservons-la pour le moment comme matière à débat » (Mesnard, 2011, p. 13).

La question du rapport entre mathématiques et pensée « philosophique » ou religieuse chez Pascal est, comme l'affirme Mesnard, hautement complexe[4]. Si plusieurs rapports entre ces deux domaines se révèlent, il faut ici les examiner

4. Pour Mesnard (2011, p. 4), Pascal a entrepris « une sorte de philosophie de la géométrie ».

en détail et dans leur contexte. Nous pensons que l'étude des comparaisons pascaliennes est une bonne voie pour cela[5].

1.2. Une analyse du langage

Nous estimons qu'une bonne voie pour considérer conjointement la philosophie et les mathématiques de Pascal est d'évaluer le *langage* par lequel celles-ci apparaissent. En particulier, les analogies, les comparaisons et les métaphores y sont extrêmement importantes. Nous croyons qu'elles ne doivent pas être séparées des « relations essentielles », contrairement à ce que dit Mesnard. C'est justement en prenant en compte l'analogie et la métaphore en tant que parties *constitutives* du langage que nous espérons pouvoir discuter le sens de l'ensemble de l'œuvre pascalienne. En ce sens, on peut penser à la perspective de P. Ricoeur (2007) qui considère la métaphore comme un phénomène *inhérent* au langage, et non pas en tant qu'écart.

Comme on le sait, si l'on comprend la rhétorique en sens large, c'est-à-dire non pas seulement en tant qu'ornement du discours, mais comme étude des formes et de l'organisation de celui-ci, il n'y a pas de raison de ne pas parler de « rhétorique des sciences ». Ainsi, quand nous parlons de la « rhétorique » des *Pensées* ou d'un texte mathématique de Pascal, il ne faut pas comprendre l'expression comme affirmant qu'il ne s'agit « que » d'un texte rhétorique. En admettant que n'importe quel texte porte une dimension rhétorique, notre perspective est tout simplement d'analyser la forme expressive des textes pour en relever les questions sous-jacentes[6].

---

5. En ce sens, nous croyons malheureuse la déclaration suivante de Mesnard qui suit dans son texte : selon lui, avec la relation profonde entre les mathématiques et la philosophie chez Pascal, « nous atteignons un philosophe adepte convaincu d'une *Mathesis universalis*, dont la nécessité était posée depuis Galilée proclamant que la nature parle le langage des mathématiques, et que plusieurs mathématiciens de son temps s'efforçaient de construire, chacun à sa façon. Ce mouvement trouvera son champion en la personne de Leibniz » (Mesnard, 2011, p. 13). Il est certain qu'à la fin du *Potestatum numericarum summa*, Pascal fait mention d'une nature « amoureuse d'unité » ; il est certain aussi qu'il y a des rapports entre Galilée et Pascal, et entre Pascal et Leibniz. Mais non pas continuité absolue. Il n'y a pas de *Mathesis universalis* chez Pascal, et celui-ci ne soutient pas non plus que les mathématiques sont un langage qui révèle la nature. Si les mathématiques sont importantes pour Pascal, c'est d'une façon plus intriquée — c'est d'ailleurs l'intérêt qu'il y a à les examiner chez ce penseur en particulier. Sur la notion de *Mathesis universalis*, voir Rabouin (2009).
6. Parmi les commentateurs pascaliens qui prennent en compte la rhétorique, nous pouvons évoquer les études de D. Descotes, qui écrit : « Au temps de Pascal, les sciences dites actuellement exactes relèvent encore du domaine des *literae humaniores*. Seule la rigou-

Pour V. Carraud, dans des textes comme *Disproportion de l'homme* (Sel. 230, Laf. 199) et dans la fin de l'*Esprit géométrique*, Pascal fait une « subversion rhétorique du concept d'infini », opérant un usage de ce concept qui serait « excessif et hors d'ordre de sa propre compétence mathématique » (Carraud, 1992, pp. 434-435). Carraud nous semble avoir raison de soutenir qu'il y a un mouvement important de la pensée de Pascal vers un sens plus ample d'« infini », qui s'appliquera y compris à l'homme : nous croyons qu'il faut y parler d'une *figuration*, car les concepts mathématiques ne se donnent pas en effet comme tel dans les *Pensées*. Il faut en revanche reconnaître que l'*Esprit géométrique* opère une *unification* de différents domaines des mathématiques justement par l'infini qui est incompréhensible, caractère qui sera ensuite « transféré » à la caractérisation de l'homme. Il y a davantage de continuité dans la pensée pascalienne qu'il ne le semblerait, y compris dans l'*Esprit géométrique*, comme nous le verrons à la section 3.

Nous essayons alors de prendre en compte des parallèles du *mode d'expression* de Pascal dans ses mathématiques et dans ses écrits philosophiques et religieux, d'où notre évocation de la notion de rhétorique[7]. Notre analysons alors le texte pascalien en cherchant à mieux élucider les articulations qui se font jour dans son langage. C'est à partir de là que nous pouvons analyser la structure de la pensée même de Pascal, en montrant son unité.

Il s'agit alors de mettre en lumière les similarités de formes aussi bien dans les textes mathématiques de Pascal que dans ses autres écrits. Deux précisions doivent encore être faites. D'abord, en établissant ce parallèle, notre but n'est pas de montrer qu'une partie de l'œuvre de Pascal a été *influencée* par une autre. En questionnant philosophiquement ces formes d'expression pascalienne, nous voudrions seulement montrer une « tonalité » de la pensée pascalienne, qui reste ouverte à des investigations précises d'influence entre les parties de l'œuvre.

Il faut aussi préciser que notre propos n'est pas simplement de montrer des analogies entre les parties mathématique et philosophique de l'œuvre de Pascal. Cela a été fait d'une certaine manière par d'autres auteurs, et des comparai-

reuse séparation des disciplines qui règne aujourd'hui nous dissimule que, pour un Pascal comme pour un Descartes, un traité de mathématiques ou de physique est d'abord une œuvre littéraire, dans laquelle la rhétorique ne peut être considérée comme un vêtement hétérogène surajouté à la pensée proprement scientifique : elle en est un facteur constitutif » (Descotes, 2001b, p. 237). Voir aussi Descotes (1993).

7. Une catégorie qui pourrait peut-être intervenir ici serait celle de « style mathématique ». Voir, par exemple, Rabouin (2017).

sons extérieures pourraient être faites indéfiniment. Nous prétendons plutôt faire ressortir des comparaisons qui apparaissent à l'*intérieur* de chacun de ces domaines, dans l'écriture même de Pascal, et, seulement ensuite, les traiter ensemble. Mais cela devra se faire en partant des comparaisons pascaliennes elles-mêmes, et en respectant chaque partie de l'œuvre. Rien ne serait plus monstrueux, d'un point de vue pascalien, que de « plaquer » des mathématiques sur ses *Pensées* : cela serait non seulement incertain, mais, en fin de compte, inutile.

Notre étude considérera différentes périodes de la vie de Pascal. D'une part, on pourrait croire que celui-ci a abandonné les mathématiques à la fin de sa vie, époque de la rédaction des *Pensées*. Mais d'autre part, les travaux sur la cycloïde ont été menés par Pascal aussi en 1658, ce qui atteste un retour aux mathématiques à une époque où l'écriture des *Pensées* avait déjà été entamée.

Il faut encore rappeler un fait évident : même si la tradition chrétienne est riche en réflexions ayant trait aux mathématiques (qui apparaissent sous plusieurs formes chez Augustin, Boèce, Nicolas de Cues, Thomas d'Aquin...), Pascal tranche par l'importance qu'a chez lui la *pratique* mathématique, d'ailleurs riche en résultats nouveaux.

Ce qui est certain est que la relation entre, d'une part, mathématiques, et d'autre part, apologétique et philosophie, n'est pas simple. Elle existe, mais croire qu'elle serait une simple application d'un *modèle* constituerait une grave erreur, contre l'esprit pascalien lui-même :

> « S'il y a un Dieu, il est infiniment incompréhensible, puisque n'ayant ni parties ni bornes il n'a nul rapport à nous. Nous sommes donc incapables de connaître ni ce qu'il est, ni s'il est. Cela étant, qui osera entreprendre de résoudre cette question ? Ce n'est pas nous qui n'avons aucun rapport à lui » (Sel. 680, Laf. 418).

Le danger est d'essayer de placer sur le plan de la raison ce que Pascal nie pouvoir y être placé.

Néanmoins, Pascal n'est pas un irrationaliste : il ne fait que protester contre les prétentions indues de la raison à régler ce qui est au-delà de son domaine. Il est ainsi possible d'appliquer des prédicats à ce qui semblerait être incomparable, car d'un genre distinct. Autant dire qu'au sein de la discontinuité, il y a une relation à dégager, si complexe soit-elle. Comme l'affirme Pascal, même si la méthode géométrique ne peut être entièrement réalisée par les hommes, et même si « ce qui passe la géométrie nous surpasse », « néanmoins il est néces-

saire d'en dire quelque chose, quoiqu'il soit impossible de le pratiquer » (*De l'esprit géométrique*, dans OC III, p. 393).

Nous nous posons la question de la comparabilité des incomparables, c'est-à-dire celle de la comparabilité entre choses qui sont séparées par leur hétérogénéité, par leur disproportion, par une distance infinie, ou par un manque de rapport du fini à l'infini.

Que dire du statut de ces comparaisons ? S'agirait-il de « structures », de « modèles »[8], d'« analogies », de « métaphores », de « schèmes », de « figures » ? La question est beaucoup plus complexe qu'il ne semble, car en fait elle amène naturellement à s'interroger sur la manière de formuler la relation de la philosophie et des mathématiques, tout en passant par la question du rapport entre la pensée et le langage. Nous songeons à une « topologie de la pensée » pour parler de ces « articulations » qui nous semblent être récurrentes en même temps que relativement malléables.

Cet article présente les comparaisons des incomparables chez Pascal que sont l'analogie de disproportion (§ 2), les comparaisons d'hétérogènes dans le texte *De l'esprit géométrique*, qui peuvent être interprétées par la forme de l'analogie de disproportion (§ 3), les comparaisons entre les indivisibles dans sa pratique mathématique (§ 4) et enfin les rapports de la créature finie au Créateur infini considérés à partir de l'analogie de disproportion (§ 5).

2. L'analogie de disproportion

« Toute l'histoire de la philosophie pourrait être récrite en mettant l'accent non sur la structure des systèmes, mais sur les analogies qui guident la pensée des philosophes, la manière dont elles se répondent, se modifient, sont adaptées au point de vue de chacun » (Perelman, 1989, p. 408).

2.1. Une analogie entre des disproportions

Ainsi commence le célèbre fragment des *Pensées* dit « des trois ordres » :

> « La distance infinie des corps aux esprits figure la distance infiniment plus infinie des esprits à la charité car elle est surnaturelle » (Sel. 339, Laf. 308).

8. M. Serres (1968), par exemple, a soutenu que les « modèles » mathématiques de Pascal, Leibniz et Descartes importent pour la compréhension de leurs philosophies.

Pascal sépare l'ordre des corps (des richesses, de la force, des rois), celui des esprits (où règne Archimède) et enfin celui de la charité (où sont saint Paul, saint Augustin et Jésus Christ[9]). Il indique bien que regrouper des éléments d'un ordre (avoir une armée plus grande, par exemple) ne fait pas passer à l'ordre suivant (un théorème d'Archimède est au-dessus tous les royaumes du monde). Il indique ainsi qu'entre deux de ces ordres, il y a une « distance infinie », signe de ce qui ne peut pas être surpassé. Mais en revanche, il déclare qu'une de ces distances infinies *figure* l'autre, de manière qu'on peut bien apercevoir une relation existante entre ces deux distances infinies, quoiqu'elles indiquent plutôt un manque de relation qu'une relation proprement dite. Dans son analyse de ce fragment, P. Secretan (1998) parle d'une d'une *analogia disproportionalitatis per modum figurationis* chez Pascal. Nous élargissons ici sa conception, définissant un concept général d'« analogie de disproportion », et le considérant également ailleurs dans l'œuvre pascalienne.

Quel est le rôle de l'analogie pour la pensée de Pascal ? Remarquons que la question est d'autant plus compliquée que celui-ci ne possède pas une théorie de l'analogie, ni n'utilise le terme même « analogie » bien que celui-ci existe aussi bien dans le français que dans le latin du XVIIe siècle. Néanmoins, Pascal connaissait sans doute le terme et choisit de ne pas l'utiliser, ce qui constitue plutôt un silence sur l'analogie qu'un rejet[10].

Une des plus grandes critiques envers l'existence d'une « analogie » chez Pascal a été formulée par P. Magnard (1981, 1992, et 2007) pour qui la disproportion mise en lumière par Pascal se situe bien à l'antipode de la correspondance harmonique connue par la Renaissance entre le microcosme et le macrocosme. Bien au contraire, pour Magnard (1981, p. 8), « l'homologie pascalienne se heurte à la discontinuité d'un univers chaotique et à l'incommensurabilité des réalités envisagées ».

Pour Magnard, l'égarement de l'homme est signe d'une discontinuité essentielle qui empêche la connaissance progressive, et qui montre l'inexistence d'une commune mesure pour la connaissance et pour situer l'homme dans le monde.

9. Voir Sel. 329, Laf. 298.
10. J.-L. Marion (2009, p. 14, note) a fait remarquer que l'analogie a disparu du discours cartésien car celui l'évite consciemment. Le cas est différent pour Pascal qui, à l'inverse de Descartes, n'avait pas reçu une éducation chez les Jésuites et pour qui l'analogie scolastique devrait être une question moins omniprésente.

> « La “même proportion”, aperçue à des niveaux différents d'infinitude, ne saurait renouer le lien analogique que l'incommensurabilité des ordres rompt inéluctablement. [...] La double infinité n'a pas seulement effacé tout référent, confondu toute évaluation, emporté tout point fixe, ruiné toute certitude, brisé toute analogie, elle a introduit une absolue discontinuité entre les décombres d'un monde qui vainement se renvoient leur image faute de pouvoir totaliser » (Magnard, 1992, p. 135).

L'analogie n'est pas un mot du vocabulaire pascalien : c'est un fait. L'employer pour parler de son œuvre serait alors, selon Magnard, la confondre avec la Renaissance qui lui a précédé, et rater le principal dans l'argumentation pascalienne[11]. Ce que Magnard nie est que la catégorie d'analogie soit ici pertinente : il vaudrait mieux parler, par exemple, de similitude, seule relation à laquelle pourrait, selon lui, s'accommoder la disproportion (Magnard, 1979, p. 402).

Notre perspective n'est pas tout à fait la même. Sans ignorer que l'analogie a existé d'une manière singulière dans la période précédant l'Âge classique et liée aux correspondances et à l'harmonie — comme c'était d'ailleurs souvent le cas pour son emploi dans l'Antiquité —, nous croyons que l'analogie est un concept plus riche, qui permet même de comprendre la comparaison qui existe entre des disproportions. Nous montrerons que, en tant que forme proportionnelle *A est à B ce que C est à D*, l'analogie est présente chez Pascal, pouvant même s'établir comme des « relations » des distances infinies. Nous présenterons ainsi le concept d'analogie de disproportion.

À partir de la rhétorique, on peut essayer de donner une définition générale, selon laquelle l'analogie serait une « similitude de rapports » (Perelman, 1989, p. 396). Quoiqu'on puisse disputer sur cette appellation de « similitude » (en soutenant qu'il s'agit au contraire d'une identité, d'une équivalence, etc.), il est clair que la structure qu'on considère est celle du type *de même que A est à B, de même C est à D*. L'analogie est alors la comparaison qui dit que *A* est à *B* ce

11. On peut rappeler ici l'étude de Foucault (1966) qui propose une prépondérance de la ressemblance dans l'épistémè du XVIe siècle sous quatre formes : la *convenientia*, l'*aemulatio*, l'*analogie* et la *sympathie*. Il suffit de dire ici que la notion restreinte d'analogie évoquée par Foucault peut également être soupçonnée de ne pas faire partie de la pensée du XVIIe siècle. Nous prétendons cependant identifier *une certaine* forme de l'analogie au XVIIe siècle. Si, pour Foucault, la critique cartésienne de ce qui serait un régime de la ressemblance n'exclut pas pour autant toute forme de comparaison, nous nous tournons vers ces comparaisons pour identifier d'autres types d'analogies.

que *C* est à *D* : comme le soir est au jour, ainsi la vieillesse l'est à la vie[12]. Il s'agit d'une ressemblance entre le rapport d'un premier à un deuxième et le rapport d'un troisième à un quatrième.

Cette conception de l'analogie peut être rapprochée de celle des mathématiques grecques, puisqu'on dit que des grandeurs sont *análogon* quand le rapport de deux d'entre elles est « le même » que le rapport entre les deux autres (selon le livre V des *Éléments* d'Euclide), ce qu'on peut noter[13] comme *a:b::c:d*. En mathématiques, on peut alors parler de « proportion » comme une relation existante entre deux rapports.

Nous essayerons donc de donner une définition générale de l'analogie de disproportion, qui soit pertinente autant pour la rhétorique que pour les mathématiques.

N'ayant pas une prétention exhaustive sur l'histoire de l'analogie, nous voudrions soulever quelques éléments historiques qui permettront de mieux définir l'analogie de disproportion[14].

Considérons le célèbre opuscule *De nominum analogia* de Tommaso de Vio, le Cardinal Cajétan[15]. Dans cet ouvrage, Cajétan suggère que toute analogie puisse être classée sous trois modes : l'analogie d'inégalité, l'analogie d'attribution et l'analogie de proportionnalité[16].

Reprenant une tradition classique qui existe au moins depuis les *Catégories* d'Aristote sur les rapports entre noms et sens, Cajétan propose la définition suivante :

12. Aristote, *Poétique*, 1457b.
13. Selon Grattan-Guinness (1996), le mathématicien anglais William Oughtred (1574-1660) a été le premier à employer le symbole :: pour indiquer la ressemblance. Quant à la notation *a:b* utilisée pour indiquer le rapport entre *a* et *b*, elle serait due, selon Grattan-Guinness, à un autre anglais contemporain de Pascal, à savoir l'astronome Vincent Wing (1619-1668). Rien n'indique cependant que Pascal ait connu ces notations.
14. Rien qu'au XXe siècle, l'analogie et la métaphore ont reçu énormément d'attention dans les études sur le langage, l'heuristique scientifique, la théologie... Comprendre l'analogie est la tâche d'une vie. Dans la section 5, nous traiterons de quelques aspects du recours à l'analogie dans le langage théologique. Quant aux définitions du livre V des *Éléments* d'Euclide, nous y reviendrons à la section 3.
15. Écrit en 1498, ce traité n'a été publié qu'en 1506 (Ashworth, 2010).
16. Quelques auteurs utilisent *proportio* pour désigner un rapport, et *proportionalitas* pour une équivalence de rapports. Il faut souligner que cette terminologie n'est cependant pas constante chez les auteurs de langue latine, qui utilisent également *ratio* et *proportio* pour distinguer ces deux sens (Rommevaux, 2012).

> « On appelle analogues selon l'inégalité les analogues dont le nom est commun et dont la raison signifiée par ce nom est absolument la même, tout en étant participé de façon inégale » (Cajétan, 1987, p. 114).

Il définit d'autre part :

> « Sont analogues selon l'attribution, les analogues dont le nom est commun, et dont la raison [*ratio*] signifiée par ce nom est la même quant à son terme, mais différente dans les rapports [*habitudines*] qu'elle établit avec ce terme : comme *sain* est un nom commun à la médecine, à l'urine et à l'animal » (Cajétan, 1987, p. 116).

L'analogie d'attribution concerne le rapport entre deux termes, une propriété étant prédiquée de l'un prioritairement et de l'autre de manière dérivée. C'est ainsi que sont dits *sains* aussi bien le chien que la nourriture, celui-là dans un sens primaire, et celle-ci dans un sens secondaire.

Quant à l'analogie de proportionnalité, celle qui nous intéressera le plus ici, Cajétan déclare que, dans ce cas, il ne s'agit plus d'analogues « par abus », mais d'« analogues en sens propre » qui sont les « analogues selon la proportionnalité, ceux dont le nom est commun et dont la raison signifiée par ce nom est *la même* par proportion » (Cajétan, 1987, p. 120). Cajétan déclare que ces analogues peuvent être aussi définis comme « ceux dont le nom est commun et dont la raison signifiée par ce nom est *semblable* ».

> « On appelle rapport [*proportio*] une certaine relation [*certa habitudo*] d'une quantité à une autre. Ainsi nous disons que quatre a un rapport double à deux. Quant à la proportionnalité [*proportionalitas*], c'est la similitude [*similitudo*] de deux rapports. Ainsi nous disons que huit se rapporte [*se habere*] à quatre comme six à trois : dans un cas comme dans l'autre le rapport est double. Mais les philosophes ont étendu le nom de rapport à toute relation de conformité, de commensuration, de capacité etc. Par conséquent ils ont étendu la proportionnalité à toute similitude de relations [*similitudinem habitudinum*]. Et c'est dans ce sens que nous utilisons ces mots » (Cajétan, 1987, p. 120 ; trad. modifiée).

La distinction entre *proportio* et *proportionalitas* est reprise de saint Thomas par Cajétan[17]. Avant lui, on peut déjà la trouver dans plusieurs traductions du livre V des *Éléments* d'Euclide, par exemple chez Boèce et chez Jordanus Nemorarius (Rommevaux, 2005, p. 121).

17. B. Pinchard renseigne (dans Cajétan, 1987, p. 156, note) deux passages de Thomas : *II Sent*, dist. 42, q. 1, a. 5, ad 1, et *De veritate*, q. 2, a. 11, c.

Le traité de Cajétan a des enjeux complexes, aux seins desquels nous n'entrerons pas. Ce que nous voudrions simplement indiquer est que pour Cajétan l'analogie de proportionnalité l'« emporte sur les précédentes par la dignité et par la propriété du nom ». En effet, pour Cajétan l'analogie de proportionnalité repose sur la comparaison de deux relations, ou encore sur le « fondement » de deux relations (cf. Ashworth, 2010).

Tandis que l'analogie d'attribution existe entre deux termes, l'analogie de proportionnalité s'établit entre quatre termes et se caractérise par la mise en évidence d'une similitude entre deux rapports : un premier est à un deuxième de même qu'un troisième est à un quatrième. Cette forme est consonante à la structure proposée par Perelman (1989) en rhétorique[18]. La question de la « précédence » de l'analogie d'attribution ou de l'analogie de proportionnalité est assez complexe. Notre propos ici est simplement d'éclairer la forme particulière de l'analogie de proportionnalité pour formuler ce que nous avons appelé l'analogie de disproportion.

Cette structure proportionnelle de quatre termes apparaît à la fois dans des contextes mathématiques (notamment avec la théorie euclidienne des proportions) et dans des contextes théologiques (notamment pour savoir quel langage est apte à faire des prédications sur les attributs divins). Mais comment relier tous ces sens ? Où est l'analogie dans tout cela ?

> « la notion d'analogie découle d'une intuition inanalysable : c'est une de ces notions indéfinissables que Pascal aurait rattachées à l'esprit de finesse et non à l'esprit géométrique : auxquelles cependant, il faut bien accorder une valeur scientifique sous peine de refuser le nom de science à des études telles que l'anatomie comparée. Il est impossible de marquer avec une précision qui exclut toute ambiguïté les caractères auxquels on reconnaît que deux corps sont ou ne sont pas analogues » (Duhem, 1902, p. 80).

Quoique Duhem pense ici à une forme bien spécifique de l'analogie et à son rôle dans le développement scientifique, la remarque est valable plus générale-

18. « Nous devons écarter de notre examen tous les cas où l'analogie est synonyme de similitude assez faible entre les termes que l'on compare. Nous tenons à souligner que, pour nous, il n'y a analogie que quand est affirmé une similitude des rapports, et pas simplement une similitude entre des termes. Si l'on affirme que A est B (cet homme est un renard), il ne s'agira pas pour nous d'une analogie, mais d'une métaphore, qui est une analogie condensée » (Perelman, 1989, p. 396).

ment : l'analogie est difficilement définissable, et néanmoins elle possède un rôle central chez Pascal[19].

Nous avons dit que Pascal est, avant tout, un auteur de la disproportion — terme qui apparaît dans le fragment *Disproportion de l'homme* (Sel. 230, Laf. 199). Nous voudrions par conséquent montrer comment les « disproportions » peuvent apparaître dans des analogies, dans cette forme comparative qu'est l'analogie de disproportion.

P. Secretan (1984) propose que l'« être à » possède un sens relationnel dans l'analogie de proportionnalité entre quatre termes :

> « tel *est à* ce que tel *est à* ; mais la proportion entre ces deux rapports est alors qualifiée, ou pour le moins identifié, dans un *ce que* proprement formel. L'analogie dit ici une qualité inhérente à une relation et attribuable à une autre relation : c'est *par analogie* que l'homme et Dieu sont dit "père" ; la différence et l'incommensurable sont entre engendrer et créer, entre l'homme et Dieu comme agents d'actes spécifiques, mais il y a analogie d'entre deux relations : le père est à son fils ce que Dieu est à l'homme. En revanche, lorsque Rousseau écrit au sujet de Dieu que "sa substance inexplicable est à nos âmes ce que nos âmes sont à nos corps"[20], il crée une analogie qui pourtant ne retient qu'une ressemblance entre deux "distances" et non une ressemblance au cœur de la dissemblance » (Secretan, 1984, p. 11).

Ce passage nous permet de développer notre formulation de l'analogie de disproportion. L'analogie « classique », nous l'avons vu, présente une similitude entre deux rapports (Perelman, 1989), chaque rapport existant entre deux éléments l'un homogène à l'autre. L'analogie de disproportion, au contraire, présente une comparaison entre des couples d'éléments qui sont entre eux hétérogènes, en disproportion, dans différents « ordres » ou à distance infinie. Il s'agit de dire que deux choses sont *aussi éloignées que* deux autres, *aussi différentes que* deux autres, en un mot *aussi disproportionnelles que* deux autres. Il s'agit, en général, de présenter une similitude de disproportions, et non pas de rapports. Si l'analogie « classique » indique une « ressemblance au cœur de la

19. Comme nous l'avons montré dans Cortese (2016), la lecture de Pascal par Duhem est imprécise dans la mesure où celui-ci associe d'une part l'esprit de finesse, l'intuition et le cœur, et d'autre part l'esprit de géométrie, la déduction et la raison, ce qui n'est pas si simple chez Pascal. L'essence de la lecture duhémienne nous semble néanmoins soulever, quoiqu'en les interprétant à sa manière, des aspects qui sont centraux dans l'œuvre de Pascal. Pour ce qui est de la relation entre Pascal et Duhem, voir l'excellente étude de J.-F. Stoffel (2007) et celle de V. Jullien (2014).

20. J.-J. Rousseau, *Profession de foi du Vicaire savoyard*, chap. 10.

dissemblance », comme l'écrit Secretan, l'analogie de disproportion indique une ressemblance entre deux différences[21].

Pascal est un auteur qui indique des discontinuités essentielles aussi bien dans le domaine apologétique des *Pensées* (entre raison et cœur, entre les trois ordres des corps, des esprits et de la charité) que dans les mathématiques (l'hétérogénéité entre l'indivisible et l'extension, les ordres respectifs de sommes de points, de lignes et de surfaces[22]). Ces discontinuités concernent souvent la relation entre le fini et l'infini. En dépit de ces discontinuités, l'analogie de disproportion apparaît comme une forme qui exhibe cependant une vraie relation. Rappelons que *rapport* ne veut pas dire assimilation, mais relation entre des différences.

La disproportion est-elle l'exact opposé de l'analogie ? Voilà tout l'enjeu du problème : nous essayerons de montrer que la question n'est pas si simple. *Dis*proportion ne veut pas nécessairement dire une absence absolue de proportion, mais pourrait être une sorte d'écart vis-à-vis de la proportion.

On lit dans *Infini rien*, dit le fragment « du pari » :

> « L'unité jointe à l'infini *ne l'augmente de rien*, *non plus* qu'un pied à une mesure infinie. Le fini *s'anéantit* en présence de l'infini et devient un pur néant. *Ainsi* notre esprit devant Dieu, *ainsi* notre justice devant la justice divine. *Il n'y a pas si grande disproportion* entre notre justice et celle de Dieu *qu'entre* l'unité et l'infini.
>
> Il faut que la justice de Dieu soit énorme comme sa miséricorde. Or la justice envers les réprouvés est moins énorme et doit moins choquer que la miséricorde envers les élus. » (Sel. 680, Laf. 418 ; c'est nous qui soulignons).

21. Il est vrai que le choix, ici, du mot « analogie » pourrait faire penser que tout ce qui s'applique à l'analogie « classique » serait aussi valable pour l'analogie de disproportion. Si nous pensons, en revanche, aux propriétés de la théorie des proportions en mathématiques, il est vrai que du fait que A est à B ce que C est à D, on peut dire que A est à C ce que B est à D. Cette propriété existerait-elle pour l'analogie de disproportion ? Ce type de question n'empêche cependant pas de soutenir que, sous l'aspect de la ressemblance entre des relations entre deux éléments (quoique cette relation soit de disproportion, et non pas de rapport strict), il est intéressant d'appeler cette forme de comparaison « analogie » de disproportion.
22. Pour l'hétérogénéité entre l'indivisible et l'extension, voir la section 3. Pour les ordres de sommes, voir la fin du *Potestatum numericarum summa* (OC II, pp. 1271-1272), ainsi qu'un passage des *Lettres de A. Dettonville* (OC IV, p. 431), analysés dans Cortese & Rabouin (2019).

L'établissement de ce texte est problématique. L'extrait « l'unité jointe [...] devient un pur néant » est dans le corps du texte, tandis qu' « ainsi notre esprit [...] envers les élus » est un ajout en marge[23].

La première comparaison est négative (« non plus que ») : de même qu'une unité jointe à l'infini ne l'augmente de rien, de même un pied n'augmente de rien une mesure infinie. Il s'agit d'une comparaison de négligeabilité qui peut bien être considérée une analogie de disproportion. La prochaine phrase explicite le « principe » en action : « le fini s'anéantit en présence de l'infini et devient un pur néant ». Ce principe qu'on peut dire négatif, car d'anéantissement, est valable encore pour un autre cas (« ainsi ») : l'esprit humain et Dieu, et plus précisément la justice humaine et la justice divine, dans ce qui peut être considéré encore une deuxième analogie de disproportion. La justice de l'homme, créature finie, s'anéantit quand elle est comparée à celle de Dieu. Il semble qu'on ait en vue deux comparaisons entre trois paires d'éléments, qui sont dans trois domaines (l'arithmétique, la géométrie, et la religion).

Mais que dire de la suite ? « Il n'y a pas si grande disproportion entre notre justice et celle de Dieu qu'entre l'unité et l'infini » : quel est le sens de cette comparaison ?

Si on comprend le « que » comme une locution restrictive, alors il y a une simple poursuite de l'analogie de disproportion, avec encore une équivalence entre des faits de négligeabilité : c'est-à-dire que la disproportion entre la justice humaine et la justice divine est si grande que la seule comparaison possible avec cette dernière serait la disproportion entre l'unité et l'infini.

Si on comprend que la phrase veut dire que la disproportion entre l'unité et l'infini est plus grande que celle entre notre justice et celle de Dieu, on semble arriver à un contresens. Face à cette difficulté, l'édition de Port-Royal apporte un changement considérable à ce passage[24]. Dans le manuscrit on lit :

> « Il n'y a pas si grande disproportion entre notre justice et celle de Dieu, qu'entre l'unité et l'infini ».

tandis que dans l'édition de Port-Royal de janvier 1670, la phrase est altérée :

> « Il n'y a pas si grande disproportion entre l'unité et l'infini, qu'entre notre justice et celle de Dieu ».

23. Par rapport à l'établissement de ce texte, voir l'édition de Descotes (2011).
24. Voir le tableau comparatif des éditions pour ce fragment dans l'édition de Descotes (2011).

Or ce changement est tout à fait significatif, car il montre qu'en effet, à l'époque de Pascal, on devrait attendre plutôt un ordre contraire pour la phrase si on comprend « si grande disproportion [...] que » non pas comme une équivalence, mais bien comme une inégalité de disproportions. Faudrait-il alors considérer la phrase comme un lapsus de Pascal ? La question est complexe, et nous n'approfondirons pas ici l'analyse de ce fragment. Soulignons seulement que dire que la disproportion entre l'unité et l'infini est plus grande que celle entre notre justice et celle de Dieu semble en effet être étranger à la pensée de Pascal ; par ailleurs, il faut tenir compte que la phrase qui suit, faisant une comparaison entre la justice et la miséricorde divines, semble apparaître en tant qu'une disproportion encore plus grande que celles qui la précèdent : si la justice divine dépasse la justice humaine, « la miséricorde envers les élus » à son tour dépasse « la justice envers les réprouvés ». Dans ce sens, lire la suite des phrases comme des disproportions à chaque fois plus grandes nous amènerait à penser que, peut-être, le sens à considérer ici serait que la disproportion entre la justice divine et la justice humaine est plus grande que celle entre l'unité et l'infini[25].

Pascal est un auteur attentif aux ruptures, aux différents ordres, à l'hétérogénéité, à la disproportion. Cela apparaît aussi bien dans les *Pensées* que dans ses écrits mathématiques. Mais tout en reconnaissant ces discontinuités essentielles, Pascal identifie des relations entre les discontinuités elles-mêmes. Cela se fait au niveau du discours, en particulier par l'analogie de disproportion. Loin d'être une question purement stylistique, cela a des conséquences profondes pour comprendre la pensée de Pascal.

Remarquons néanmoins que cette forme n'est pas une invention de Pascal. Dans le langage biblique, on retrouve des formulations qu'on peut classer comme des analogies de disproportion, très semblables à celle qu'on peut trouver chez Pascal. En particulier, dans deux livres qui lui sont chers, celui d'*Isaïe* et les *Psaumes*, on lit[26] :

> « Car mes pensées ne sont pas vos pensées, et mes voies ne sont pas vos voies, dit le Seigneur. Mais autant que les cieux sont élevés au-dessus de la terre, autant mes voies sont élevées au-dessus de vos voies, et mes pensées au-dessus de vos pensées » (Is. 55, 8-9).

25. Nous remercions Laurent Thirouin pour avoir partagé, avec nous, des réflexions à cet égard.
26. Nous citons la Bible de Port-Royal dans son édition de 1702, en modernisant l'orthographe.

> « Il ne nous a pas traités selon nos péchés ; et ne nous a pas punis selon la grandeur de nos iniquités ; car autant que le ciel est élevé au-dessus de la terre, autant a-t-il affermi la grandeur de sa miséricorde sur ceux qui le craignent ; et autant que l'orient est éloigné du couchant, autant il a éloigné de nous nos iniquités » (Ps. 102/103, 10-12).

Le langage comparatif y apparaît comme un recours pour parler de la différence entre l'homme et Dieu. Il faut noter que dans ces deux versets, il est question de *distance* : autant les cieux sont élevés au-dessus de la terre, autant les voies de Dieu sont élevées au-dessus de celles de l'homme, autant sa miséricorde est grande pour ceux qui le craignent. La distance, et notamment la notion de distance infinie, apparaît comme facteur de « comparabilité » entre le fini et l'infini.

Nous nommons la forme d'analogie qui apparaît chez Pascal d'après un autre vocable caractéristique de sa pensée : la disproportion. Mais quand nous écrivons « analogie de disproportion », il faut souligner que cette expression est moins paradoxale et moins contradictoire qu'il n'y paraît. Nous n'écrivons pas « proportion de disproportion » : dans l'« analogie de disproportion », un mot d'origine grecque se retrouve à côté d'un mot d'origine latine, et les deux (« analogie » et « proportion ») ne désignent pas exactement la même chose. L'étymologie, pour le grec, d'*analogía* est disputée, mais en tout cas on ne peut pas oublier que le mot concerne le *lógos*. Qu'il s'agisse des « égaux *lógos* à *lógos* » ou du *lógos* qui renvoie vers le haut (*anô*), il s'agit de quelque chose qui est prédiqué (car rapporté au *lógos*)[27].

Quant à *proportio*, c'est Cicéron qui a créé le terme pour traduire *analogía* chez Platon (*Timée*, XIII). *Proportio* dérive, selon Cicéron, de *pro* et de *portio*, c'est-à-dire, « selon les parties » — et non pas « selon les rapports » (ce qui était possible avec le *lógos*). La *disproportion* peut ainsi être comprise comme un manque de rapport entre les parties (aspect « ontologique »), tandis que l'*analogie* peut être comprise comme un rapport de prédication (aspect linguistique ou « épistémologique »). C'est de cette manière que nous justifions notre choix du terme « analogie de disproportion » ; quant à la notion de *disproportion*, nous suivrons surtout l'usage que Pascal lui-même en fait.

27. Le sens le plus usuel de la particule *aná* est « vers le haut », mais A. Szabó (1977), en analysant la théorie pré-euclidienne des proportions, a proposé l'hypothèse selon laquelle la locution adverbiale *aná lógon* était une expression elliptique pour *aná lógon* ísoi, où *aná* possédait un sens « distributif », de sorte que son sens serait « égaux logos à logos », c'est-à-dire égaux selon chaque logos.

2.2. Inégalité ou équivalence des disproportions ?

Mais la question n'est cependant pas simple : si la « disproportion » doit évidemment être comprise par rapport à « proportion », il y a des occurrences où elle désigne un *manque absolu* de proportion ou de convenance, tandis que dans d'autres cas, il ne s'agit que d'une proportion fort « tendue », dont la convenance n'est pas facilement réparable. On retrouve alors deux sens de disproportion : manque strict de proportion ou proportion déformée. Il faudra évidemment rapporter cela au sens mathématique de la proportion, dont Pascal était conscient, notamment à la question de l'homogénéité et de l'hétérogénéité des grandeurs.

Pour ce qui est de la caractérisation de l'analogie de disproportion, il faut comprendre « disproportion » en tant que manque absolu de proportion, de manière qu'on y retrouve effectivement une comparaison d'hétérogènes, et non pas seulement de choses qui ont des proportions fort « tendues »[28].

Il faut aussi indiquer que l'analogie de disproportion n'est pas simplement une « analogie négative », telle que celle-ci a été comprise, par exemple, par Hesse (1966) : si l'analogie négative est dite montrer les propriétés qui *ne sont pas communes* entre deux choses, l'analogie de disproportion indique bien une ressemblance, quoique ce soit entre deux « manques de relation ». Par ailleurs, l'analogie négative existe entre deux choses, tandis que l'analogie de disproportion apparaît par rapport à une structure de quatre termes.

Il ne s'agit donc pas simplement de dire que la disproportion existe pour Pascal, mais que toutes les disproportions ne sont pas équivalentes. En fait, on peut comparer les disproportions, et cela de deux manières : dire qu'une disproportion est plus grande qu'une autre, ou dire qu'il y a autant de disproportion dans un cas que dans un autre.

Considérons d'abord l'inégalité des disproportions. En effet, des disproportions peuvent être plus ou moins grandes les unes par rapport aux autres. Les raisonnements *a fortiori* appliqués à des disproportions peuvent bien l'indiquer. Ce type de comparaison apparaît par exemple dans le langage biblique[29] :

> « Si donc vous, quoique vous soyez méchants, vous savez néanmoins donner de bonnes choses à vos enfants ; à combien plus forte raison

28. Nous reviendrons à la « tension » que nous croyons exister dans l'analogie de disproportion dans la section 5.
29. Voir aussi, par exemple, Dt 31, 27, Prov 11, 31 et 2 Cor 3, 8.

> votre Père qui est dans le ciel donnera-t-il le bon esprit à ceux qui le lui demandent ? » (Lc 11,13).

Cette forme de comparaison exhibe une ressemblance entre deux contextes asymétriques. Elle ne dit pas, et c'est là le point intéressant, qu'une chose est « beaucoup plus » qu'une autre : cette comparaison est formulée comme une question ou comme une exclamation de « *combien* plus », en indiquant de manière hyperbolique une grande distance ; on peut aussi parler ici de disproportion.

Cette forme apparaît aussi dans les *Pensées* :

> « La dernière démarche de la raison est de reconnaître qu'il y a une infinité de choses qui la surpassent. Elle n'est que faible si elle ne va jusqu'à connaître cela.
>
> ———————————
>
> Que si les choses naturelles la surpassent, que dira-t-on des surnaturelles ? » (Sel. 220, Laf. 188).

Par le moyen d'une question (« que dira-t-on ? »), dont on pourrait même dire qu'elle indique une incomparabilité plus forte que l'expression « combien plus », Pascal indique que le surpassement des choses surnaturelles par rapport à la raison peut être bien plus grand que celui des choses naturelles.

Pascal peut donc comparer des distances ou des disproportions qui sont plus grandes les unes que les autres.

D'autre part, nous l'avons annoncé, Pascal identifie non seulement des inégalités entre des disproportions, mais aussi des « équivalences » entre disproportions. C'est-à-dire que, en accord avec notre formulation de l'analogie de disproportion, deux choses sont *aussi éloignées* l'une de l'autre que deux autres (au contraire du cas dans lequel une des distances est plus grande que l'autre). C'est alors l'équivalence entre des disproportions que nous allons maintenant considérer.

Comme exemple, considérons la polémique de Pascal avec le P. Noël sur l'existence du vide. Le P. Noël prétend que l'espace qui reste dans le tube de verre des expériences sur la pression de l'air est un corps, ce qui est nié par Pascal. Pour celui-ci, les accidents de *haut*, *bas*, *droite* et *gauche* appartiennent à l'espace, et ne conviennent pas au corps en tant que celui-ci est espace. Pour les auteurs évoqués par Noël, le corps est *ce qui est composé de matière et de forme*. Quant à l'*espace vide*, dit Pascal, il est un espace « ayant longueur, largeur et profondeur, immobile et capable de recevoir un corps de pareille longueur et

figure ». C'est-à-dire que ces accidents, qui sont les dimensions d'un espace, définissent quel corps peut y être placé, mais ne confondent pas l'espace et le corps. C'est ainsi que Pascal écrit au P. Noël :

> « De sorte que la différence essentielle qui se trouve entre l'espace vide et le corps qui a longueur, largeur et profondeur, est que l'un est immobile et l'autre mobile ; et que l'un peut recevoir au-dedans de soi un corps qui pénètre ses dimensions, au lieu que l'autre ne le peut ; car la maxime que la pénétration de dimensions est impossible s'entend seulement des dimensions de deux corps matériels ; autrement elle ne serait pas universellement reçue. D'où l'on peut voir qu'il y a autant de différence entre le néant et l'espace vide que de l'espace vide au corps matériel, et qu'ainsi l'espace vide tient le milieu entre la matière et le néant » (OC II, p. 526).

L'espace vide ne saurait pas être le néant pour Pascal. Pour lui, l'espace vide est tel relativement aux espèces sensibles qu'on connaît, et il préserve ses dimensions, n'étant pas le néant. Il y a, ainsi, « autant de différence entre le néant et l'espace vide que de l'espace vide au corps matériel » : on peut comparer la différence de l'espace vide à un corps matériel à celle du néant à l'espace vide, dans ce qui caractérise une analogie de disproportion (il y a *autant* de différence entre ... et ... *que* entre ... et ...). Si l'espace vide partage avec le néant le fait de ne pas avoir de matière (au moins dans ce qui est sensible à l'homme), il a en commun avec le corps matériel le fait de posséder des dimensions, n'étant pas absolument indéterminé comme le néant. Cette comparaison place alors l'espace vide au *milieu* du néant et du corps matériel : on voit comment l'analogie de disproportion peut, en dépit des différences qu'elle explicite, faire apparaître la catégorie d'être au milieu, indiquant bien une « équivalence » de différences.

Revenons au fragment des trois ordres (Sel. 339, Laf. 308), qui était au point de départ même de notre caractérisation de l'analogie de disproportion. Que devrait-on dire du passage où l'on lit qu'une distance infinie « figure » une distance infiniment plus infinie ? S'agirait-il d'une comparaison qui montre une inégalité entre des disproportions ou d'une analogie de disproportion, qui montre des équivalences entre des disproportions ? Il faut noter que, dans ce cas, la notion de figuration introduit une asymétrie entre les deux choses comparées, de manière que l'une *pointe* vers l'autre, arrivant jusqu'à la « distance infiniment plus infinie » entre l'ordre des esprits et celui de la charité. En même temps, la figuration introduit une *relation* entre les distances, qui est en conformité avec la structure de l'analogie de disproportion.

Dans ce sens, le fragment des trois ordres est d'une part un exemple d'analogie de disproportion telle que nous l'avons définie, montrant une *relation* entre des disproportions, mais d'autre part, il ne l'est pas, car il ne révèle pas d'équivalence entre ces disproportions, mais plutôt une inégalité entre elles. Il faut dire que l'analogie de disproportion, quoiqu'étant un renversement de l'analogie classique, ne laisse pas d'être une analogie. Dans ce sens, nous l'avons définie en tant qu'une équivalence de disproportions. Néanmoins, l'existence de certaines comparaisons qui montrent des inégalités de disproportions (notamment quand on fait des comparaisons à l'infini ou à Dieu) devra aussi être prise en compte, car y apparaît une « tension » fondamentale, et dont le fragment des trois ordres est, par excellence, un exemple. C'est pour cela qu'il faudra discuter plus en profondeur les caractéristiques de l'analogie pour saisir les implications philosophiques de l'analogie de disproportion (§ 5).

Concluons cette section en remarquant que la forme de l'analogie de disproportion est, dans un certain sens, une analogie adaptée aux questions par lesquelles Pascal en fait usage : la possibilité de faire des prédicats sur des attributs divins, la nature des indivisibles, la relation entre le fini et l'infini. Nous en verrons un exemple pour *L'esprit géométrique* dans la section 3.

3. Le *De l'esprit géométrique*

« Il y a bien de la différence entre n'être pas une chose et en être un néant » (OC III, p. 408), écrit Pascal dans le texte *De l'esprit géométrique*. Pascal y est soucieux de présenter la vraie méthode géométrique, mais aussi de montrer certaines erreurs dans la conception des « indivisibles » et se montre sensible aux questions de la comparabilité des entités mathématiques, notamment quant au critère d'hétérogénéité[30]. Dans cette section, nous montrerons comment les comparaisons proposées dans ce texte pour rendre claire la nature des indivisibles peuvent être interprétées en tant que des analogies de disproportion, ainsi que le rôle fondamental de l'infini pour l'existence de ces comparaisons.

Pascal affirme qu'on ne peut pas nier qu'« une ligne mathématique soit divisible à l'infini »[31]. Il s'agit bien de la question qui est traitée dans l'*Esprit géométrique* : la division répétée d'une ligne ne saurait aboutir à des indivisibles. Or, en un sens, tel était déjà le cas dans la *Physique* d'Aristote : « car il n'est

30. Nous consultons l'*Esprit géométrique* dans OC III, pp. 390-412. Les datations proposées pour cet opuscule sont incertaines et varient de 1654 à 1658.
31. Lettre à Fermat du 29 juillet 1654 ; dans OC II, p. 1142.

pas difficile de réfuter les lignes indivisibles [*atómous grammás*] » (206a 14-15). Toute une tradition avait fait sienne la position selon laquelle des « indivisibles » ne peuvent pas composer le continu, et que diviser à plusieurs reprises une grandeur donnée ne pourrait jamais aboutir à des indivisibles. N'était-ce pas là, justement, la critique faite par plusieurs auteurs à la méthode de Cavalieri, si celle-ci était interprétée comme utilisant des indivisibles hétérogènes[32] ?

Dans l'*Esprit géométrique*, Pascal écrit à ceux qui ont de la peine à concevoir une infinité d'indivisibles dans l'espace :

> « Et pour les soulager dans les peines qu'ils auraient en de certaines rencontres, comme à concevoir qu'un espace ait une infinité de [in] divisibles[33], vu qu'on les parcourt en si peu de temps, pendant lequel on aurait parcouru cette infinité de [in]divisibles, il faut les avertir qu'ils ne doivent pas comparer des choses aussi disproportionnées qu'est l'infinité des [in]divisibles avec le peu de temps où ils sont parcourus ; mais qu'ils comparent l'espace entier avec le temps entier, et les infinis [in]divisibles de l'espace avec les infinis instants de ce temps : et ainsi ils trouveront que l'on parcourt une infinité de [in]divisibles en une infinité d'instantes, et un petit espace en un petit temps ; en quoi ils ne trouvent plus la disproportion qui les avait étonnés » (OC III, p. 406).

La « disproportion qui les avait étonnés », dit Pascal, n'est le fruit que d'une mauvaise compréhension de la nature des indivisibles et de leurs rapports. C'est également ainsi qu'on « voit combien il y a peu de raison de comparer le rapport qui est entre l'unité et les nombres à celui qui est entre les indivisibles et l'étendue » (OC III, p. 409).

Pour faire, ici, une comparaison juste, Pascal, qui défend la liberté des définitions dans l'*Esprit géométrique*, propose de modifier la définition d'unité, en considérant celle-ci comme un nombre. Ainsi, dit Pascal, l'unité devient homogène aux nombres : en étant multipliée, elle peut les surpasser. Rien n'empêche alors de définir l'unité comme étant aussi un nombre, et de faire correspondre, dans la comparaison, l'indivisible à un autre élément arithmétique : le zéro.

32. Voir par exemple les critiques de Guldin, du P. Lalouvère et du P. Tacquet (cf. Descotes, 2015b).

33. Le copiste du manuscrit de Sainte-Beuve du texte *De l'esprit géométrique* avait d'abord écrit « d'indivisibles », pour ensuite barrer le début et écrire « de », formant « de divisibles » (page 61*r* du manuscrit). Nous croyons que, pour préserver le sens de la phrase, il faut comprendre ici « infinité d'indivisibles ». Cela vaut également pour les autres occurrences de « divisibles » dans la suite de ce passage. Pour l'édition de ce texte, voir Mesnard dans OC III, p. 368.

> « Si l'on veut prendre dans les nombres une comparaison qui représente avec justesse ce que nous considérons dans l'étendue, il faut que ce soit le rapport du zéro aux nombres » (OC III, pp. 409-410).

Le zéro est en effet hétérogène aux nombres, ce qui est équivalent à l'hétérogénéité entre l'indivisible et l'étendue. Pascal s'autorise donc à faire des « comparaisons » entre des « rapports » qui sont interdits par les critères d'Euclide (que nous verrons par la suite), mais qui, néanmoins, sont des rapports dans le sens élargi d'une relation d'hétérogénéité. Voilà l'ouverture opérée vers une analogie de disproportion. Quant au statut de cette réflexion, on pourrait la croire simplement « rhétorique » ; nous montrerons cependant qu'elle a des implications philosophiques importantes, allant au-delà d'un « simple » usage du langage.

3.1. Au-delà d'Euclide : comparer des hétérogènes

Le traitement que Pascal donne de la question possède une richesse qui le rend singulier, et pour le comprendre, il faut prêter attention au texte. Au début de l'*Esprit géométrique*, Pascal procède en supposant une « véritable méthode » géométrique, qui

> « consisterait en deux choses principales : l'une, de n'employer aucun terme dont on n'eût auparavant expliqué nettement le sens ; l'autre, de n'avancer jamais aucune proposition qu'on ne démontrât par des vérités déjà connues ; c'est-à-dire, en un mot, à définir tous les termes et à prouver toutes les propositions » (OC III, p. 393).

Cette méthode, pourtant, est impossible pour les hommes, d'abord car elle se heurte à une difficulté classique, déjà identifiée par Aristote dans les *Seconds Analytiques* : si tout doit être défini, que faire des premiers termes ? On a répondu qu'un tel cas implique soit une circularité de définitions, soit une régression infinie, soit un argument dogmatique.

Si Aristote semble avoir adopté une solution qui serait classée sous la dernière de ces formes, ce sera aussi le cas de Pascal, mais d'une manière assez différente. Pascal ne considère plus les notions premières comme connues, tel que le Stagirite paraît le faire, mais plutôt comme simplement *constantes*. En opposition à Descartes, qui cherchait des idées claires et « distinctes » (dont on pourrait montrer des marques distinctives), Pascal croit impossible de désigner ces traits distinctifs, et fait référence plutôt à des notions primitives « constantes », au sens d'« entendues de tous les hommes ». Pour les termes premiers, il y a alors une absence de définition, mais cela n'empêche pas l'ordre

géométrique, car celui-ci, dit Pascal, ne suppose, pour être développé, « que des choses claires et constantes par la lumière naturelle, et c'est pourquoi il est parfaitement véritable, la nature le soutenant au défaut du discours » (OC III, p. 395).

« On voit assez de là qu'il y a des mots incapables d'être définis » (OC III, p. 397), et pourtant cela n'empêche pas les hommes de les utiliser comme des termes primitifs. Ce n'est pas, comme Pascal le souligne, que l'*essence* des choses soit claire à tous les hommes : il s'agit plutôt de dire que l'objet auquel un terme fait référence est le même pour chaque homme[34].

Pascal cite alors une version modifiée du verset du livre de la *Sagesse* 11, 21 : « *Deus fecit omnia in pondere, in numero, et mensura* » (OC III, p. 401), à savoir Dieu a fait toutes les choses en poids, en nombre et en mesure. On pourrait croire qu'on se trouve dans un cadre au sein duquel le monde serait connu par les mathématiques, et l'on y reconnaîtrait harmonie et proportion. Pascal indique qu'entre le mouvement, le nombre et l'espace, « il y a des propriétés communes à toutes ces choses, dont la connaissance ouvre l'esprit aux plus grandes merveilles de la nature » (OC III, p. 402).

Mais quelles seraient ces « propriétés communes », qui fondent la connaissance du mouvement, du nombre et de l'espace (et, *a fortiori*, les mathématiques elles-mêmes) ? Le lecteur se trouve bien étonné par la réponse, car, au lieu de présenter une harmonie comparable à celle de l'homme vitruvien, Pascal déclare que

> « la principale [de ces propriétés] est les deux infinités qui se rencontrent dans toutes [ces quantités qui sont le nombre, l'espace, le temps et le mouvement], l'une de grandeur, l'autre de petitesse » (OC III, p. 402).

L'infini, marque de l'absence de limites et de l'incalculabilité, pourrait-il être le pilier sur lequel on fonderait la bonne connaissance de la géométrie ? Cela ne saurait être le cas pour les mathématiques des Grecs, tels qu'Euclide et Archimède. Pascal opère ici néanmoins un intéressant détour : c'est l'infi-

34. « ce n'est pas la nature des choses que je dis qui est commune à tous ; ce n'est simplement que le rapport entre le nom et la chose ; en sorte qu'à cette expression, *temps*, tous portent la pensée vers le même objet : ce qui suffit pour faire que ce terme n'ait point besoin d'être défini, quoique ensuite, en examinant ce que c'est le temps, on vienne à différer de sentiment après s'être mis à penser. Car les définitions ne sont faites que pour désigner les choses que l'on nomme, et non pas pour en montrer la nature » (OC III, p. 397).

ni, notamment dans son aspect incompréhensible, qui sera le fondement de la connaissance mathématique.

La question est intéressante, car, dans un mouvement argumentatif subreptice, on pourrait reconnaître effectivement, du point de vue étymologique, l'infini comme la première des notions indéfinissables : en effet, comment l'*in-fini* pourrait-il être *dé-fini* ? Définir l'infini serait délimiter, donner des bornes à l'immense qui est, par définition, sans limites. Ainsi, la première des notions indéfinissables dont parle Pascal est justement la notion indéfinissable primitive. À la méthode qui ne peut pas tout définir, on répond justement par le principe qui est l'infini, lequel ne peut pas être défini.

Pour nier qu'on puisse trouver des indivisibles au bout de divisions successives d'une grandeur, Pascal propose de considérer d'abord le mouvement, et le fait qu'il puisse être toujours augmenté :

> « Car quelque prompt que soit un mouvement, on peut en concevoir un qui le soit davantage, et hâter encore ce dernier, et ainsi toujours à l'infini, sans jamais arriver à un qui le soit de telle sorte qu'on ne puisse plus y ajouter » (OC III, p. 402).

D'autre part, un mouvement peut toujours être retardé davantage, aussi lent soit-il, sans qu'il soit pour autant en repos.

Pascal passe alors à des comparaisons du mouvement avec le nombre, le temps et l'espace : « de même, quelque grand que soit un nombre », il peut toujours être augmenté, « et au contraire, quelque petit que soit un nombre », il peut toujours être divisé. On remarquera l'usage de l'expression « de même », typique de l'analogie[35]. Si l'on peut toujours faire un mouvement plus grand ou plus petit, il en est de même pour le nombre, pour l'espace et pour le temps :

> « C'est-à-dire, en un mot, que quelque mouvement que ce soit, quelque nombre, quelque espace, quelque temps que ce soit, il y en a toujours un plus grand et un moindre ; de sorte qu'ils se soutiennent tous entre le néant et l'infini, étant toujours infiniment éloignés de ces extrêmes » (OC III, pp. 402-403).

Il s'agit alors d'une analogie « classique », positive pour ainsi dire : nombre, mouvement, espace et temps possèdent tous un infini de grandeur et un infini de petitesse ; ils peuvent toujours être agrandis ou diminués. Il s'agit de dire que tous ces types de quantités ont *la même* propriété, celle d'être *entre*

35. On lit encore : « De même, quelque grand que soit un espace [...] Et au contraire, quelque petit que soit un espace [...] » ; « Il en est de même du temps [...] » (OC III, p. 402).

le néant et l'infini. Sans que la division implique pour la quantité considérée de tomber dans son néant, cette opération reste toujours entre des quantités homogènes : l'espace peut être divisé sans devenir un indivisible. En effet, écrit Pascal, « toutes ces grandeurs sont divisibles à l'infini sans tomber dans leurs indivisibles, de sorte qu'elles tiennent toutes le milieu entre l'infini et le néant » (OC III, p. 410).

Toutefois, l'existence des distances infinies (« infiniment éloignés de ces extrêmes ») obligera à prendre en compte des grandeurs *hétérogènes* si l'on veut parler des extrêmes que sont l'infini et le néant : un « indivisible, multiplié autant qu'on voudra, ne fera jamais une étendue. Donc il n'est pas de même genre que l'étendue, par la définition des choses du même genre ». Mais quelle est cette définition ?

> « Euclide [...] définit ainsi les grandeurs homogènes : "Les grandeurs, dit-il, sont dites être du même genre, lorsque l'une étant plusieurs fois multipliée peut arriver à surpasser l'autre" » (OC III, p. 408).

Il s'agit d'une appropriation par Pascal des *Éléments* d'Euclide, reprenant en même temps les définitions 3 et 4 du livre V[36]. Les grandeurs homogènes sont alors celles dont l'une peut surpasser l'autre quand elle est suffisamment multipliée ; d'autre part, les grandeurs hétérogènes sont celles dont l'une ne peut jamais surpasser l'autre, alors même qu'elle est multipliée par n'importe quel nombre fini que ce soit. Il s'agit notamment de l'indivisible vis-à-vis d'une grandeur finie, car le premier ne saurait constituer celle-ci par une multiplication : « un indivisible multiplié autant de fois qu'on voudra est si éloigné de pouvoir surpasser une étendue qu'il ne peut jamais former qu'un seul et unique indivisible » (OC III, p. 409). Un rassemblement fini d'indivisibles ne saurait donc constituer une grandeur finie.

Ce n'est pas par hasard si Pascal a entremêlé la discussion sur la nature des indivisibles et celle sur la liberté des définitions en géométrie. Aux « définitions de chose » que sont les propositions, Pascal oppose les « définitions de nom », qui sont libres pour autant que l'on reste cohérent avec les définitions de nom données auparavant.

36. Sur cette appropriation, voir Gardies (1984). Dans la traduction de Vitrac (Euclide, 1994-2001), « un rapport est la relation, telle ou telle, selon la taille, [qu'il y a] entre deux grandeurs du même genre » (livre V, déf. 3) ; « des grandeurs sont dites avoir un rapport l'une relativement à l'autre quand elles sont capables, étant multipliées, de se dépasser l'une l'autre » (livre V, déf. 4).

À ceux qui prétendent « que deux néants d'étendue peuvent aussi bien faire une étendue que deux unités dont aucune n'est nombre font un nombre par leur assemblage », Pascal rétorque que

> « il leur faut repartir qu'ils pourraient opposer de la même sorte que vingt mille hommes font une armée, quoique aucun d'eux ne soit armée ; que mille maisons font une ville, quoique aucune ne soit ville ; ou que les parties font le tout, quoique aucune ne soit le tout ; ou, pour demeurer dans la comparaison des nombres, que deux binaires font le quaternaire, et dix dizaines une centaine, quoique aucun ne le soit » (OC III, p. 407).

Il est clair qu'il s'agit là de définitions libres : ces choses sont toutes homogènes, même si l'on a voulu que leurs noms diffèrent.

> « Mais ce n'est pas avoir l'esprit juste que de confondre par des comparaisons si inégales la nature immuable des choses avec leurs noms libres et volontaires, et dépendants du caprice des hommes qui les ont composés. Car il est clair que pour faciliter les discours on a donné le nom d'armée à vingt mille hommes, celui de ville à plusieurs maisons, celui de dizaine à dix unités ; et que de cette liberté naissent les noms d'unité, binaire, quaternaire, dizaine, centaine, différents par nos fantaisies, quoique ces choses soient en effet de même genre par leur nature invariable, et qu'elles soient toutes proportionnées entre elles et ne diffèrent que du plus ou du moins, et quoique, ensuite de ces noms, le binaire ne soit pas quaternaire, ni une maison une ville, non plus qu'une ville n'est pas une maison. Mais encore, quoiqu'une maison ne soit pas une ville, elle n'est pas néanmoins un néant de ville. Il y a bien de la différence entre n'être pas une chose et en être un néant » (OC III, p. 407).

À part leurs définitions libres de nom, Pascal dit que dans tous les cas cités (à part celui des indivisibles et de l'étendue), ces choses sont respectivement *de même genre par leur nature invariable*. Autant dire qu'elles sont homogènes, car justement elles sont *toutes proportionnées entre elles et ne diffèrent que du plus ou du moins* : la multiplication de l'une d'entre elles peut la faire surpasser l'autre. Il faut noter encore ici l'usage de l'adjectif « proportionnées » comme synonyme de l'homogénéité — ce qui pourrait faire penser inversement à un rapprochement entre disproportion et hétérogénéité.

Mais il ne faut pas faire des « comparaisons si inégales » : dans le cas de l'indivisible à l'égard d'une étendue, ils sont bien hétérogènes ; aussi, leur rapport ne peut pas être comparé à celui de l'unité à l'égard du nombre, « car non

seulement il [l'indivisible] diffère de nom, ce qui est volontaire, mais il diffère de genre ».

Pascal fait alors un mouvement argumentatif négatif, en niant la justesse d'une telle comparaison : si l'unité multipliée peut surpasser tout nombre, « il n'en est pas de même d'un indivisible à l'égard d'une étendue » (OC III, pp. 408-409). Deux indivisibles unis ne feront jamais une étendue[37].

Mais la négation de cette comparaison n'est pas l'aspect final du texte : même si « un indivisible [...] est si éloigné de pouvoir surpasser une étendue qu'il ne peut jamais former qu'un seul et unique indivisible », « on trouvera une correspondance parfaite entre ces choses » qui sont le zéro et les nombres, l'indivisible et l'étendue, le repos et le mouvement, l'instant et le temps.

Le mouvement négatif de la pensée de Pascal est alors complété par une nouvelle comparaison. L'unité et les nombres appartiennent au même genre, contrairement à l'indivisible par rapport à l'étendue. « D'où l'on voit combien il y a peu de raison de comparer le rapport qui est entre l'unité et les nombres à celui qui est entre les indivisibles et l'étendue » (OC III, p. 409). Il faut faire remarquer que Pascal parle d'un « rapport » entre les indivisibles et l'étendue. Or si l'unité et les nombres sont bien homogènes, et peuvent selon Euclide avoir un rapport, tel ne saurait être le cas pour les indivisibles et l'étendue. La démarche pascalienne consiste ici à employer « rapport » et dans son sens strictement mathématique et dans son sens élargi de « relation » en général (ambiguïté, peut-on dire, non forcée, car existante dans le mot même de « rapport », ainsi que dans le *lógos* grec). Finalement, il faut dire que Pascal innove ici en employant « rapport » pour les hétérogènes.

Comme dans le cas de la comparaison entre des grandeurs homogènes, Pascal proposera un tel « élargissement » du rapport pour d'autres paires de grandeurs, hétérogènes l'une à l'autre :

> « Et on trouvera un pareil pour le repos et le mouvement, et entre un instant et le temps. Car toutes ces choses sont hétérogènes à leurs grandeurs, parce qu'étant infiniment multipliées, elles ne peuvent jamais faire que des indivisibles, non plus que les indivisibles d'étendue ne peuvent jamais faire une étendue, et par la même raison. Et alors on trouvera une correspondance parfaite entre ces choses [...] » (OC III, p. 410).

37. « Un indivisible est ce qui n'a aucunes [sic] parties, et l'étendue est ce qui a diverses parties séparées » (OC III, p. 409).

Voici la puissance de l'analogie de disproportion pour Pascal : si le repos et le mouvement, l'instant et le temps, le zéro et les nombres, l'indivisible et l'étendue sont des quantités toujours hétérogènes l'une à l'autre, on peut néanmoins « trouver un pareil » dans chacun de ces cas, « car toutes ces choses sont hétérogènes à leurs grandeurs ». Le même « rapport » se trouve dans chaque cas : non pas un rapport mathématique strict d'homogénéité, mais la relation même d'être hétérogène à l'autre grandeur, de sorte que la comparaison qui se fait entre ces paires de quantités constitue une analogie de disproportion. Une « correspondance parfaite » est ainsi établie entre les paires d'hétérogènes.

Le but de l'*Esprit géométrique* étant de mettre en lumière la vraie nature des indivisibles, on peut dire que la comparaison des hétérogènes justifie ici un nouvel objet par ce qu'on pourrait appeler un processus d'élargissement — de même que, dans un certain cas, une chose était hétérogène à une autre, de la même façon, dans un autre cas, on doit avoir un hétérogène à une grandeur : l'indivisible. La situation ici est plutôt celle où l'on renvoie vers quelque chose pour laquelle on possède un nom — « indivisible » —, mais à propos de laquelle on n'est pas d'accord sur ce qu'elle est vraiment. La comparaison vient alors en aide pour « situer » cet élément en fonction d'autres, déjà connus.

L'introduction du zéro au lieu de l'unité pourrait surprendre. Il faut rappeler ici la définition qu'Euclide donne du nombre : « Et un *nombre* est la multitude composée d'unités »[38]. L'unité n'est pas nombre pour Euclide, car elle est pour ainsi dire la génératrice des nombres naturels. Cependant, comme l'indique Pascal, l'unité est homogène aux nombres, et la comparaison *juste* avec l'indivisible et l'étendue n'apparaît que si l'on considère le « rapport » entre le zéro et les nombres, parce que le zéro, étant multiplié, ne peut pas surpasser les nombres[39].

38. Livre VII, déf. 2, trad. B. Vitrac, dans Euclide (1994-2001).
39. Rappelons que le zéro avait déjà été introduit par Stevin au début de son *Arithmétique* dans une discussion assez proche de celle de Pascal. À la question de savoir quel nombre correspond le mieux au point, Stevin écrit : « Ils disent l'unité : O heure infortunée en laquelle fut premierement produicte cette definition du principe du nombre ! O cause de difficulté & d'obscurité de ce qui en la Nature est facile & clair ! [...] Mais quelle communauté (ie vous supplie) y a il entre l'unité & le poinct ? certes nulle servant au propos ; car deux unitez (comme ils disent) font nombre, mais deux, voire mille points ne font nulle ligne : L'unité est divisible en parties [...] le poinct est indivisible : L'unité est partie du nombre, le poinct n'est pas partie de la ligne, & ainsi des autres : L'unité doncques n'est point telle en nombre comme le poinct en ligne. Qu'estce donc qui lui correspond ? Ie di que cest *o* (qui se dit vulgairement Nul [...]) » (Stevin, 1955-1966, t. 2 B, pp. 498-499).

Du point de vue rhétorique, après la comparaison des incomparables qui consiste à montrer un « rapport » entre des grandeurs hétérogènes et après montrer qu'il en est *de même* pour d'autres quantités, Pascal présente ce qu'on pourrait appeler une « condensation métaphorique » de cette analogie de disproportion. Le zéro, écrit Pascal, n'est pas du même genre que les nombres, « parce qu'étant multiplié, il ne peut les surpasser : de sorte que c'est un véritable indivisible de nombre, comme l'indivisible est un véritable zéro d'étendue » (OC III, p. 410). Le zéro est dit *un indivisible de nombre*, et l'indivisible un *zéro d'étendue* : Pascal « croise » les deux « domaines » d'hétérogènes zéro-nombres et indivisible-étendue, en prenant le terme de l'un pour le terme de l'autre[40].

Un autre exemple de comparaison par « croisement » de domaines apparaît dans la suite du texte :

> « voilà comment on démontre que les indivisibles ne sont pas du même genre que les nombres. De là vient que deux unités peuvent bien faire un nombre, parce qu'elles sont de même genre ; et que deux indivisibles ne font pas une étendue, parce qu'ils ne sont pas de même genre » (OC III, p. 409).

Pourquoi Pascal parle-t-il d'hétérogénéité des *indivisibles* par rapport aux *nombres* ? Ne voulait-il pas montrer, d'un côté, la différence de genre entre *zéro* et *nombre*, et d'un autre côté, celle entre *indivisible* et étendue ? L'appartenance des indivisibles au même genre des nombres ne se pose même pas comme question. À notre avis, pour garder son sens, il faut comprendre ici la phrase métaphoriquement : quand Pascal dit que les « indivisibles », qui à strictement parler appartiennent à la géométrie, ne sont pas du même genre que les nombres, il faudrait comprendre l'*indivisible des nombres*, à savoir, le zéro.

Si d'un point de vue mathématique la question abordée par Pascal est celle des quantités hétérogènes, dans le plan rhétorique de l'*Esprit géométrique*, le but est de trouver les bonnes comparaisons : dans une déclaration qui fait penser à une réponse aux paradoxes de Zénon, Pascal dit qu'« ils ne doivent pas comparer des choses aussi disproportionnées » qu'est l'infinité des indivisibles[41] « avec le peu de temps où ils sont parcourus », mais « qu'ils comparent l'espace entier avec le temps entier », et les infinis indivisibles de l'espace « avec

40. On rappellera ici la conception d'Aristote sur le rapport entre la métaphore et l'analogie (*Poétique*, 1457b).
41. Rappelons que nous lisons « infinité de divisibles » dans le manuscrit de Sainte-Beuve, lecture suivie par Mesnard, mais que notre interprétation est qu'il faut comprendre *infinité des indivisibles*.

les infinis instants de ce temps ; et ainsi ils trouveront que l'on parcourt » une infinité d'indivisibles « en une infinité d'instants, et un petit espace en un petit temps ; en quoi ils ne trouvent plus la disproportion qui les avait étonnés » (OC III, p. 406). Le fait que le copiste du manuscrit dit de Sainte-Beuve ait substitué, dans ce passage, « indivisibles » par « divisibles » semble être une marque de la difficulté à concevoir une infinité d'indivisibles. La « disproportion » est ainsi « résolue » si l'on trouve les bonnes comparaisons. L'analogie de disproportion prend sa place dans l'architecture des concepts mathématiques, permettant de bien concevoir les indivisibles. La question était, en fin de compte, de savoir quoi comparer à quoi.

3.2. Ce qui garde l'unité est l'infini

Si savoir comparer quoi à quoi est donc l'enjeu de la comparabilité des hétérogènes proposée par Pascal dans l'*Esprit géométrique*, l'axe sur lequel cette comparaison se fait est celui de l'infini. Il faut maintenant considérer le rôle de principe que joue l'infini dans la pensée de Pascal ainsi que la liaison entre les deux infinis, de grandeur et de petitesse.

Nous avons vu que Pascal écrit : Dieu a fait toutes les choses en poids, nombre et mesure (OC III, p. 401 ; cf. *Sg* 11, 21). Cette mention apparaît au sein de l'*Esprit géométrique*, un texte sur la nature des entités mathématiques, en particulier des indivisibles, et qui fait de l'infini le fondement même qui permet de relier des quantités de natures différentes. L'intéressant, chez Pascal, est qu'il cite cette phrase, proposant une « liaison réciproque et nécessaire », à l'endroit même où intervient l'infini, de sorte que la disproportion doit nécessairement être prise en compte quand on considère le rapport entre nombre, mesure, mouvement et temps. Nous pouvons dire ainsi que le verset est pris dans un sens bien distinct de celui de la tradition « classique »[42].

Nous croyons que l'importance de l'infini chez Pascal est de jouer un rôle de « principe » qui, quoiqu'incompréhensible, permet de dériver des conséquences qui sont une explication — certes imparfaite, mais néanmoins une explication. À propos du mystère du péché originel, Pascal écrit : « sans ce mystère le plus incompréhensible de tous nous sommes incompréhensibles à nous-mêmes » (Sel. 164, Laf. 131).

L'infini est alors placé comme principe, même s'il est incompréhensible. Cette fonction n'est pas réservée au domaine théologique : dans les mathéma-

42. Voir par ex. Gabbey (2001).

tiques aussi, Pascal part de l'« infini » pour voir les conséquences qui peuvent en être tirées — notamment pour les calculs qui peuvent être faits par ce moyen. Il s'agit de dire : posons l'infini ; que se passera-t-il si l'on poursuit ses conséquences ?

On peut dire que Pascal *ex-plicite* l'infini : il le *déploie*, si cela est possible, pour évaluer ce qui en dérive à partir de la raison discursive. Si le *lógos* sert encore de règle, il opère maintenant sur l'infini.

Ce qui fait l'unité des incomparables est l'infini : la puissance centrale de l'*Esprit géométrique* est de montrer la comparabilité des hétérogènes justement par l'infini. Fait inattendu, mais dont on verra que Pascal le mobilise avec virtuosité en mathématiques.

C'est cet aspect d'incompréhensibilité de l'infini, en même temps que son rôle au centre des mathématiques et d'une vision sur l'homme, sur le monde et sur Dieu, que nous mettrons en avant. Il faut cependant indiquer dès à présent que l'infini se présente sous la forme de *deux infinis*, l'infini de grandeur et l'infini de petitesse.

> « dans l'opuscule *De l'Esprit géométrique*, Pascal rend "la définition des choses du même genre" solidaire de la possibilité de réitérer à l'infini deux opérations sur les grandeurs, l'opération de multiplication dont fait état la définition, et celle, inverse, de division. La démonstration de l'homogénéité des grandeurs est ainsi inséparable de la découverte de "deux infinis [...] infiniment différents" et "néanmoins relatifs l'un à l'autre" » (Pécharman, 1997, pp. 36-37).

Si une grandeur peut toujours être augmentée, elle peut aussi être toujours divisée, argumente Pascal. Il y a une symétrie entre les deux cas qui montre que ni une quantité plus grande que toutes les autres ne peut être obtenue par des augmentations successives, ni un « indivisible » ne peut être obtenu par une série de divisions répétées[43]. Les deux infinis apparaissent, pour ainsi dire, au sein d'un même type de procédure.

Outre cela, les deux infinis sont, pour Pascal, intrinsèquement liés :

> « Et dans l'espace le même rapport se voit entre ces deux infinis contraires : c'est-à-dire que, de ce qu'un espace peut être infiniment prolongé, il s'ensuit qu'il peut être infiniment diminué, comme il

43. Cela ne porte pas toutefois sur l'*existence* de ces infinis extrêmes, mais montre simplement qu'on ne peut pas les atteindre par le moyen de procédures répétées. Voir Cortese & Rabouin (2019).

> paraît en cet exemple. Si on regarde au travers d'un verre un vaisseau qui s'éloigne toujours directement, il est clair que le lieu du diaphane où l'on remarque un point tel qu'on voudra du navire haussera toujours par un flux continuel à mesure que le vaisseau fuit. Donc, si la course du vaisseau est toujours allongée et jusqu'à l'infini, ce point haussera continuellement ; et cependant il n'arrivera jamais à celui où tombera le rayon horizontal mené de l'œil au verre. De sorte qu'il en approchera toujours sans y arriver jamais, divisant sans cesse l'espace qui restera sous ce point horizontal sans y arriver jamais. D'où l'on voit la conséquence nécessaire qui se tire de l'infinité de l'étendue du cours du vaisseau à la division infinie et infiniment petite de ce petit espace restant au-dessous de ce point horizontal » (OC III, pp. 410-411).

La *relation* entre les deux infinis « contraires » est mise en avant : la comparaison des incomparables est ici la forme même d'articulation des deux aspects de grandeur et de petitesse de l'infini. Plus qu'à l'incompréhensible en soi, Pascal est intéressé, en ce qui concerne la raison discursive, par la *comparabilité* de l'incompréhensible. Ce n'est pas « en soi » que l'infini se révèle, mais en relation — même s'il s'agit d'une relation entre l'infini... et l'infini !

L'infini est alors considéré, par Pascal, avec deux propriétés fondamentales : il est incompréhensible, et encore ainsi est posé comme principe ; il se présente par les deux infinis, et par leur relation.

Par ailleurs, cette relation entre les deux infinis ne se limitera pas, pour Pascal, à une question mathématique ; il faut revenir ici au passage qui conclut l'*Esprit géométrique* :

> « ceux qui verront clairement ces vérités pourront admirer la grandeur de la puissance de la nature dans cette double infinité qui nous environne de toutes parts, et apprendre par cette considération merveilleuse à se connaître eux-mêmes, en se regardant placés entre une infinité et un néant d'étendue, entre une infinité et un néant de nombre, entre une infinité et un néant de mouvement, entre une infinité et un néant de temps. Sur quoi on peut apprendre à s'estimer son juste prix, et former des réflexions qui valent mieux que tout le reste de la géométrie » (OC III, p. 411).

Quant à l'aspect « rhétorique » et philosophique qui apparaît dans ce texte, nous avons montré que l'importance de ces comparaisons d'infinis n'est pas moindre. Quand Pascal parle des mots indéfinissables, il donne comme exemple l'égalité, la *majorité*, la *diminution*... C'est-à-dire, des mots *comparatifs* qui permettent justement de mettre en relation ce qui ne l'était pas auparavant.

Pascal y propose de trouver les bonnes comparaisons, et non pas les comparaisons « disproportionnées » : cela se fait en partant de l'infini et de son aspect incompréhensible, mais en même temps de la relation entre les deux infinis et des comparaisons faites entre les hétérogènes. Face à la disproportion et à l'hétérogénéité, la réponse de Pascal consiste à poser comme principe l'infini lui-même et, par des analogies de disproportion, à montrer la « raison des effets » la plus incompréhensible qu'est l'infini.

4. Comparer des indivisibles

Le verset de la *Sagesse* 11,21, cité par Pascal dans l'*Esprit géométrique*, permet aussi d'analyser trois dimensions de la *pratique mathématique* de Pascal, qui sont liées, respectivement, au poids, au nombre et à la mesure : 1) en ce qui concerne la méthode des indivisibles des *Lettres de A. Dettonville*, Pascal travaille avec le modèle de la balance, se rapportant à la question de l'équilibre et à des problèmes de centre de gravité ; bien que s'agissant de la Géométrie, le rôle de la Statique pour la génération du modèle (qui part des *poids*) est central ; 2) concernant le *triangle arithmétique*, Pascal intègre l'Arithmétique et la Géométrie — un même trait qui est la négligeabilité d'un élément par rapport à un ordre supérieur, par exemple, peut apparaître aussi bien pour les ordres de nombres que pour les ordres géométriques — : il est bien question de nombres, quoique traités géométriquement sous certains aspects ; 3) enfin, touchant la *mesure* des courbes géométriques, les « petites portions » courbes dont parle Pascal dans sa méthode des indivisibles peuvent être substituées par des « petites portions » droites, pourvu qu'elles soient issues d'une division *indéfinie* : le courbe et le droit sont d'une certaine manière mis en rapport grâce à l'infini.

Dans ces trois domaines, c'est l'infini qui permet des comparaisons entre des incomparables. La question étant large, nous ne développerons qu'un aspect de la première dimension, en montrant que c'est la divisibilité indéfinie qui permet de faire des sommes pour trouver la dimension et le centre de gravité des figures géométriques[44].

Il faut comprendre que nous n'avons pas ici l'ambition de soutenir que l'analogie de disproportion en tant que telle soit applicable à la méthode pascalienne des indivisibles. En revanche, nous croyons que dans ce domaine de

44. Pour plus de détails, nous renvoyons à notre thèse de doctorat, ainsi qu'à Cortese (à paraître). Nous ne traitons pas ici de la géométrie projective de Pascal, où l'infini joue également un rôle fondamental. À ce sujet, voir Cortese (2015).

la pratique mathématique pascalienne, on peut bien voir des comparaisons (représentées y compris par des proportions mathématiques) entre des entités qui sembleraient à première vue incomparables, dans le sens qu'elles sont indéfiniment petites par rapport aux grandeurs finies dont elles sont issues. Nous montrerons également que le fondement de cette comparabilité est la division indéfinie dont fait usage la méthode. Il s'agit alors de montrer que, comme pour l'analogie de disproportion, opère ici une comparaison entre des incomparables qui repose sur l'infini (ou plutôt sur l'indéfini pour le cas présent).

Il faut finalement préciser que nous ne croyons pas que ce type de comparaison fonde tous les calculs de la méthode pascalienne des indivisibles ; son rôle fondamental pour la genèse du modèle nous fait néanmoins penser que ces comparaisons sont de grande importance pour cette méthode.

4.1. La méthode pascalienne des indivisibles

Sous le nom de plume d'Amos Dettonville, Pascal a développé, en 1658, une méthode des indivisibles qui présente des éléments qui seraient importants pour le calcul intégral moderne[45]. En partant de la cycloïde, il a posé des problèmes sur des aires et des volumes géométriques, ainsi que sur leurs centres de gravité. Pour les résoudre, il a développé, dans les *Lettres de A. Dettonville*, une *méthode générale pour trouver les centres de gravité de toutes sortes de grandeurs*, fondée sur le modèle d'une balance.

Il ne s'agit ici ni de résumer ces lettres ni d'explorer ces résultats[46]. Nous voudrions simplement mettre en lumière quelques éléments de la méthode des indivisibles pascalienne en ce qui concerne la comparaison des incomparables.

Pour cette fin, présentons très succinctement cette méthode. Comme nous l'avons dit, il s'agit de partir d'une balance pour l'appliquer à trouver les centres de gravité de « *toutes sortes de lignes, surfaces et de solides* » (OC IV, p. 421).

Pascal analyse la disposition des « poids » sur la balance, et la force que chaque poids exerce sur le bras de la balance. On pense immédiatement à la notion de « moment » et à la loi archimédienne du levier, qui dit que des

45. Bien qu'écrites en 1658, les *Lettres de A. Dettonville* ont été publiées entre décembre 1658 et mars 1659. Voir Mesnard dans OC IV, pp. 367-393, en particulier p. 371 et p. 388. L'édition moderne de ce texte peut être consultée dans OC IV, pp. 407-565.
46. Pour une bonne étude mathématique sur les *Lettres de A. Dettonville*, voir Merker (2001). Pour une interprétation plus générale de cet ouvrage, voir Descotes (2001a), et, pour une discussion sur le statut des indivisibles chez Pascal, voir Descotes (2015a).

poids sont en équilibre quand ils sont inversement proportionnels à leurs distances au point d'appui de la balance[47]. L'important, dans ces comparaisons de « poids » sur une balance, est de trouver l'équivalence, et non seulement l'égalité : une balance en équilibre n'a pas nécessairement les mêmes poids sur chaque bras, car leur disposition influence également les forces résultantes. La façon pascalienne de traiter cette disposition de poids lui est pourtant propre, par ce qu'il appelle des « sommes triangulaires ».

Pour Pascal, la « somme triangulaire » de « tant de quantités que l'on voudra A, B, C, D », « à commencer par A », est équivalente à prendre toutes ces quantités « A, B, C, D ; puis la somme des mêmes, excepté la première, savoir B, C, D ; puis la somme des mêmes excepté les deux premières, savoir C, D ; et ainsi toujours » (OC IV, p. 413)[48]. Pascal présente cette somme d'une manière que nous pouvons dire un diagramme (voir fig. n°1).

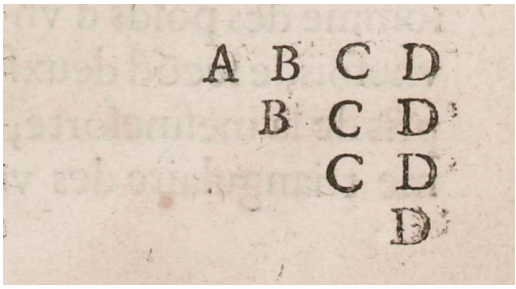


Figure n°1.

Diagramme présenté dans la *Lettre de A. Dettonville à Monsieur de Carcavy* ; dans Pascal (1659, p. 1).
Source : Bibliothèque nationale de France
(https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8626200n/f5.item)

On remarquera que quand on fait cette somme triangulaire, « on ne fait autre chose que les combiner en telle sorte qu'on prenne A une fois, B deux fois, C trois fois, etc. » (OC IV, p. 415). On pourrait dire qu'il s'agit, comme nous l'avons annoncé, d'une application de la loi du levier : chaque poids exerce une force équivalente au produit de sa masse par sa distance au point d'appui de

47. Dans la formulation de Pascal, « que les forces des poids sont en raison composée des poids et des bras » (OC IV, p. 415). Il est intéressant de noter que cette loi est formulée chez Archimède par une proportion dans le traité connu sous le titre *De l'équilibre des figures planes* : « Des grandeurs commensurables s'équilibrent à des distances inversement proportionnelles à leurs poids » (prop. I, 6 ; trad. dans Archimède, 2002, p. 85).
48. On notera le fait intéressant que Pascal traite par un paradigme (« A, B, C, D ») le cas général de « tant de quantités que l'on voudra », de telle manière que la procédure peut se poursuivre indéfiniment jusqu'à la fin des quantités (« et ainsi toujours »).

la balance. On remarquera cependant que la formulation pascalienne par les sommes triangulaires ne fait pas usage de la notion de produit, et qu'elle opère une géométrisation de l'arithmétique qui fait penser au *Traité du triangle arithmétique*, que Pascal avait publié quelques années auparavant[49] (1654/1655).

Voyons un exemple. Dans la figure n°2, on voit une balance d'extrémités *B* et *C*, et de centre (point d'appui) *A*. Sur le bras *BA*, les poids 4, 5 et 3 sont respectivement à distance trois, deux et un du point d'appui de la balance, et sur le bras *CA* les poids 8 et 9 sont respectivement à distance deux et un du point d'appui.

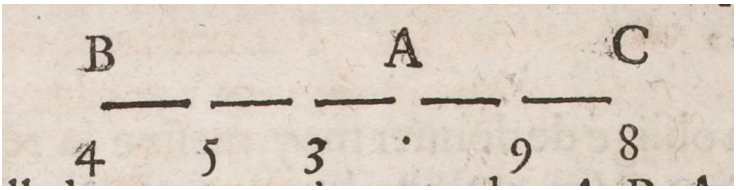


Figure n°2.

Diagramme présenté dans la *Lettre de A. Dettonville à Monsieur de Carcavy* ; dans Pascal (1659, p. 2).
Source : Bibliothèque nationale de France (https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8626200n/f6.item#).

Nous pouvons dire que la balance sera en équilibre si les sommes triangulaires de chaque bras, en commençant toujours par le centre *A* de la balance, sont égales — ce qui est bien le cas (voir fig. n°3).

4	5	3	9	8
4	5			8
4				
25			25	

Figure n°3.

Illustration de l'égalité des sommes triangulaires des deux bras de la balance de la figure n°2.
Source : Composition personnelle.

Les sommes triangulaires et la procédure pour une balance simple étant connues, voyons comment Pascal formule sa « *Méthode générale pour les centres de gravité de toutes sortes de lignes, de surfaces et de solides* » (OC IV, p. 421). Dans la figure n°4, la méthode de Pascal sert à trouver les centres de gravité de

49. Voir Mesnard dans OC II, p. 1166.

la ligne courbe *CB* ; du triligne[50] *CBA* ; de la surface courbe *CYZBFC* ; et du solide *YCFBAC* (dont une des surfaces est courbe).

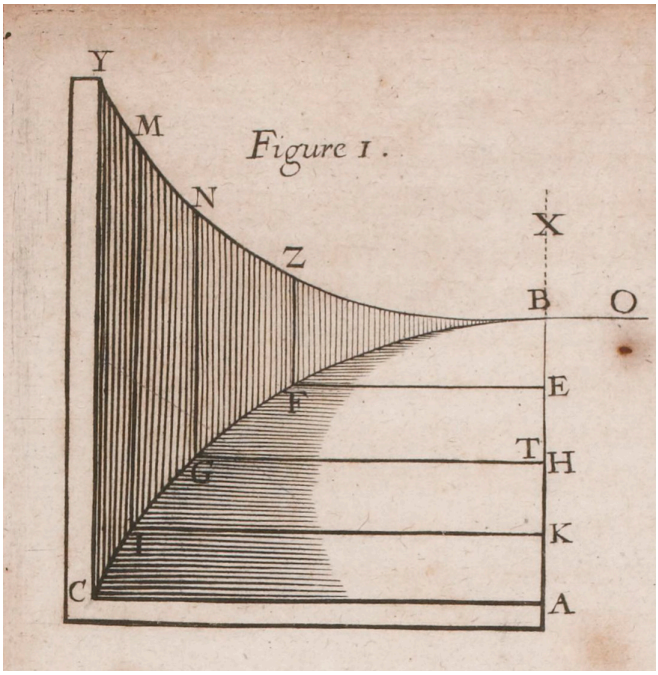


Figure n°4.

Figure présentée dans la *Lettre de A. Dettonville à Monsieur de Carcavy* ; dans Pascal (1659, planche de figures, p. 1).
Source : Bibliothèque nationale de France (https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8626200n/f149.item).

Pascal propose que l'on considère une grandeur quelconque comme étant coupée de manière régulière par « une multitude indéfinie de plans parallèles entre eux et également distants » (OC IV, p. 421). On considère, en particulier, trois de ces plans : les deux extrêmes qui comprennent la grandeur proposée et celui qui passe par son centre de gravité. On appellera *balance* la droite reliant les plans extrêmes ; celle-ci est divisée par le plan du centre de gravité en deux *bras*.

Cela étant donné, Pascal présente trois propositions qui caractérisent sa méthode, dont la troisième est la suivante :

50. Dans le langage de Pascal, un triligne est la figure composée par deux segments de droite qui ont un angle droit entre eux et par une courbe qui unit les extrémités de ces deux segments. En d'autres termes, il s'agit d'une figure semblable à un triangle rectangle dont un des côtés serait courbe. Cf. Merker (2001, p. 221).

> « Je dis qu'un bras est à l'autre (c'est-à-dire que la distance entre le centre de gravité de la figure et l'un des plans extrêmes est à la distance entre le même centre de gravité et l'autre plan extrême) comme la somme triangulaire de toutes les portions de la figure, à commencer par le premier plan extrême, à la somme triangulaire de ces mêmes portions, à commencer par l'autre plan extrême » (OC IV, p. 421).

Il s'agit de la proposition essentielle pour la méthode de Pascal. Elle affirme que si on calcule les sommes triangulaires de toutes les portions de la figure (entre chacun des deux plans parallèles), en commençant par chacune des extrémités, elles auront entre elles une raison qui sera égale à celle entre les bras de la balance. Or, une fois que l'on connaît les bras de la balance, on peut déterminer le centre de gravité, comme désiré.

Cette première formulation de la « méthode générale pour les centres de gravité » prend la forme d'une proportion : « un des bras *est à* l'autre [...] *comme* la somme triangulaire de toutes les portions de la figure, à commencer par le premier plan extrême, à la somme triangulaire de ces mêmes portions, à commencer par l'autre plan extrême » (c'est nous qui soulignons).

Voyons un exemple. Dans le triligne *ABC* de la figure n°4, *A* et *B* sont les extrémités de la balance, et *T* précise la position du centre de gravité : c'est le point d'intersection entre *AB* (la balance) et celle, parmi les droites parallèles, qui passe par le centre de gravité du triligne *CBA*.

Si nous représentons une somme triangulaire commençant par le côté *B* comme

$$\sum_{triang.B}$$

nous pouvons alors rendre la formulation de la *méthode générale* par la proportion suivante[51] :

$$\text{Bras TB} : \text{Bras TA} :: \sum_{triang.B} EF.EB : \sum_{triang.A} KI.KH$$

51. *Avertissement*, OC IV, p. 421 ; voir Hara (1981, p. 72). Certes le symbole Σ n'est pas utilisé par Pascal, mais nous croyons que cette présentation est possible sans corrompre son mode de raisonnement, qui était présenté par le langage naturel (dans le cas des *Lettres de A. Dettonville*, le français). De même, la notation A : B :: C : D pour désigner que A est à B de même que C est à D, n'apparaît pas chez Pascal. Quoique les écrits de Dettonville ne présentent pas de notation symbolique, Descotes (2010, p. 517) a montré que, dans un manuscrit découvert récemment, Pascal utilisait un *S* pour désigner des sommes, faisant songer au symbole ∫ de Leibniz.

Dans cette formule, le produit *EF.EB* désigne en fait chaque élément, correspondant à une portion du triligne, qui sera considéré dans la somme triangulaire : dans l'ordre de la somme triangulaire commençant par *B*, il s'agit des rectangles *EF.EB*, *GH.HE*, *IK.KH*, etc[52]. Chacun de ces éléments exprime une droite multipliée par une des « petites portions » de la balance (*EB*, *HE*, *KH*)[53], constituant ainsi des éléments homogènes à la somme (des petits rectangles), comme Pascal le précisera dans l'*Avertissement* qui suit. Par ailleurs, il faut remarquer que les éléments *KI.KH* et *EF.EB* portent des noms différents dans la formule seulement pour indiquer la direction de la somme triangulaire, car finalement ce sont les mêmes éléments, « comptés » de manière inverse dans les sommes triangulaires correspondantes[54].

Notons que chacun des éléments qui entrent dans ces sommes sont des rectangles indéfiniment petits, puisque leurs bases sont des « petites portions » issues d'une division indéfinie. D'autre part, la somme est faite sur une multitude « indéfinie » d'éléments. Il serait peut-être possible de rencontrer ici, d'une certaine façon, la réciprocité entre l'indéfiniment grand, lequel peut être identifié dans la somme qui constitue la grandeur géométrique en question, et l'indéfiniment petit, lequel donne la dimension des éléments qui entrent dans cette somme. Il est vrai que Pascal n'a pas vu cette réciprocité de la même manière que Leibniz le fera de manière magistrale pour le calcul intégral et différentiel[55]. Nous croyons néanmoins que cette réciprocité peut être déjà iden-

52. En suivant le mode d'expression de Pascal, nous utiliserons « etc. » plutôt que les trois points aujourd'hui généralement employés pour l'indéfini. Pascal emploie le même signe « &c » aussi bien dans ses notations mathématiques que dans les *Pensées*, évidemment dans un contexte entièrement différent (Descotes, 2010, pp. 517-518).

53. Par « petites portions », Pascal appelle les parties obtenues par la division d'une droite ou d'une courbe en un « nombre indéfini de divisions égales ». Ce sont les éléments qui entreront dans les sommes pour le calcul des aires, volumes, etc. dans la « méthode des indivisibles » pascalienne. Il ne faut pourtant pas les associer aux « indivisibles » hétérogènes de *L'esprit géométrique*, mais les prendre comme des éléments homogènes qui entrent dans un calcul. Voir Cortese & Rabouin (2019).

54. Quant au produit *KI.KH* dans la seconde somme, il indique les éléments qui entrent dans la somme triangulaire en commençant par l'autre extrémité de la balance qui est le point *A*. À l'exception des éléments des extrémités, ce sont les mêmes éléments que *EF.EB*, ne portant des noms différents dans la formule que pour indiquer la direction des sommes triangulaires correspondantes.

55. Leibniz déclare avoir eu l'idée du « triangle caractéristique » du calcul différentiel lors de la lecture du *Traité des sinus du quart de cercle* ; il écrit néanmoins que Pascal avait « les yeux fermés par une espèce de sort », ce qui ne lui aurait pas permis d'apercevoir la puissance de la figure de son traité (voir le brouillon de lettre de Leibniz à Jacques Bernouilli, de 1703, dans Leibniz (1960-1961, II, pp. 72-73). Cependant, nous ne croyons pas que

tifiée, au moins en partie, du fait que Pascal propose dans les *Avertissements* des *Lettres de A. Dettonville* d'une part que *les sommes doivent être indéfinies* et d'autre part le fait que les petites portions sont issues de *divisions indéfinies* de la grandeur. La préoccupation pour garder l'homogénéité des sommes fait que Pascal cherche une correspondance entre la somme et ce qui est sommé, de manière qu'une somme indéfinie d'indéfiniment petits constitue une grandeur finie[56]. D'une certaine manière, nous croyons pouvoir retrouver la liaison entre l'infiniment grand et l'infiniment petit qui était proposée dans l'*Esprit géométrique*. Si, d'une part, on peut lire dans celui-ci l'affirmation explicite de cette réciprocité, d'autre part les *Avertissements* des *Lettres de A. Dettonville*, bien qu'ils ne parlent pas explicitement de réciprocité entre l'indéfiniment grand et l'indéfiniment petit, montrent une préoccupation avec l'homogénéité des sommes qui indiquent, selon notre interprétation, une incorporation de cette réciprocité à la pratique mathématique. La comparabilité n'est donc admise que par le passage par l'infini — ou plutôt par l'indéfini[57].

4.2. L'indéfini équilibré sur une balance

« Donne-moi où je puisse me tenir ferme, et j'ébranlerai la Terre », énonce la célèbre phrase attribuée à Archimède[58]. C'est-à-dire qu'un petit poids peut

le même « aveuglement » existe pour Pascal quant à la réciprocité entre l'indéfiniment grand et l'indéfiniment petit : quoique la synthèse du calcul différentiel et intégral soit réalisée de manière complète par Leibniz, nous montrerons par la suite que cette réciprocité peut être identifiée comme apparaissant déjà de manière figurée dans les *Lettres de A. Dettonville*.

56. Les choses ne sont pas néanmoins si simples : il faut noter que, dans la *Lettre de Monsieur Dettonville à Monsieur de Carcavy*, Pascal met bien en évidence le fait que ses égalités de calcul sur les sommes finies ne sont pas tout à fait exactes. Il justifie cependant que ce n'est pas un problème, car on peut montrer que l'erreur sera *moindre qu'aucune grandeur donnée*. La question est complexe : nous l'avons considérée dans Cortese & Rabouin (2019), ainsi que dans Cortese (à paraître). Une autre question à considérer serait celle de l'évaluation de la rigueur de ces calculs par l'analyse mathématique du XIXe siècle.
57. Pascal déclare : « je me servirai souvent de cette expression, *une multitude indéfinie*, ou *un nombre indéfini de grandeurs*, ou de parties, etc., par où je n'entends autre chose, sinon une multitude ou un nombre plus grand qu'aucun nombre donné. » (OC IV, p. 440). Nous croyons qu'il faut lire les écrits de Dettonville comme relevant plutôt de l'indéfini que de l'infini (cf. Cortese & Rabouin, 2019). Voir aussi Descotes (2011, dossier « infini ») et Descotes (2001a, p. 159).
58. Ce lieu commun est usuellement attribué à Archimède, mais il apparaît en fait dans la *Collection mathématique* de Pappus. Il faut encore noter que « Archimède » ne fait pas ici de référence directe ni à un « point d'appui » ni à un « levier » (Ver Eecke, 1955, p. 133), ce qui suggère qu'il s'agit en fait d'« un endroit, situé sur une seconde planète,

lever un grand poids, si leurs distances sont inversement proportionnelles. L'importance de la balance chez Pascal réside en ce qu'elle pousse aux limites cette réciprocité de grandeurs, arrivant jusqu'à l'infini.

Nous avons vu que Pascal procède en divisant des grandeurs par « une multitude *indéfinie* de plans parallèles » (OC IV, p. 421). Mais il est conscient que le passage du modèle d'une balance simple à la *méthode générale* pour des lignes, des surfaces et des solides comporte une imprécision : les poids (les portions de la grandeur) ne peuvent plus être considérés comme punctiformes (ce qui était le cas pour les chiffres qui étaient pris comme poids dans le cas d'une droite prise comme balance, figure n°2). Les parties sont maintenant *entre* les points, et les portions de la grandeur, prises « pour des poids », auront une largeur, de sorte que leur distance au centre d'appui sur la balance ne sera pas constante, mais variable entre deux points (c'est-à-dire, respectivement entre les points *E* et *B, H* et *E, K* et *H*, *etc.*, dans la figure n°4). Comment alors appliquer à ces portions les sommes triangulaires ?

Pascal traite cette question dans le célèbre 5e *Avertissement* de la *Lettre de Monsieur Dettonville à Monsieur de Carcavy*. Lisons le début de cet *Avertissement* :

> « *Je sais bien que ces portions de la grandeur proposée ne pendent pas précisément aux points de division de la balance BA, mais je n'ai pas laissé de le dire, parce que c'est la même chose. Car en divisant chacune de ces parties égales de la balance BA par la moitié, ces nouvelles divisions donneront une nouvelle balance qui ne différera de la première que d'une grandeur moindre qu'aucune donnée (puisque la multitude des parties est indéfinie), et le centre de gravité de la balance se trouvera encore à une de ces nouvelles divisions, ou n'en sera éloigné que d'une distance moindre qu'aucune donnée, ce qui ne changera point les raisons ; et les portions de la grandeur proposée pendront précisément aux points de ces nouvelles divisions, en considérant au lieu des portions de la grandeur proposée, qui seront peut-être irrégulières, les portions régulières qu'on leur substitue en géométrie, et qui ne changent point les raisons (c'est-à-dire en substituant aux portions de la ligne courbe leurs cordes ; aux portions du triligne, les rectangles compris de chaque ordonnée et d'une des petites portions égales de l'axe ; et de même aux solides ; ce qui ne change rien, puisque la somme des portions substi-*

où il puisse s'arcbouter pour exercer un effort musculaire de traction sur le cordage du polyspaste, c'est-à-dire de la moufle à poulies de renvoi multiples, constituant une succession de leviers agissant les uns sur les autres ».

> *tuées ne diffère de la somme des véritables que d'une quantité moindre qu'aucune donnée).*
>
> *Donc on conclura nécessairement dans cette nouvelle balance la proportion dont il s'agit, et par conséquent elle se conclura aussi dans l'autre* » (OC IV, pp. 423-424 ; italiques dans l'original).

La stratégie de Pascal consiste à dire que si jamais son modèle n'était pas considéré comme valable, on pourrait subdiviser chaque partie de la balance en deux, les nouveaux points constituant une nouvelle balance pour laquelle le modèle serait cette fois valable, et qui « ne différera de la première que d'une grandeur moindre qu'aucune donnée ». La démarche de justification est de comparer la première division et la subdivision, en montrant que, même s'il y a une différence, on « ne changera point les raisons » (c'est-à-dire, les rapports) et « donc on conclura nécessairement dans cette nouvelle balance la proportion dont il s'agit, et par conséquent elle se conclura aussi dans l'autre ».

Ce qui est conservé, ce sont « les raisons » et la « proportion » — il s'agit d'une proportion qui est représentée par l'équilibre de la balance : un bras est à l'autre comme une somme triangulaire est à l'autre. C'est ainsi que l'analyse de la division en parties égales d'une balance simple (prise sur une droite), c'est-à-dire d'un cas particulier, servira au cas général (une balance prise sur la division indéfinie d'une grandeur quelconque). Si le modèle simple de la balance est si puissant, c'est parce qu'une division indéfinie y est déjà présente. En fait, toute la démarche de Pascal n'est valable que pour l'indéfini : « puisque la multitude des parties est indéfinie ».

Cette démarche de comparaison est valable parce que quelque chose est préservé entre les deux divisions indéfinies successives. Mais on voit bien que quelque chose change aussi ; dans le cas contraire, il n'y aurait pas de raison de distinguer deux divisions de la balance. Les proportions peuvent néanmoins être conservées, parce que la différence entre les deux divisions de la balance est négligeable. Le point fondamental est que cette négligeabilité de la différence n'existe que parce que les divisions sont indéfinies, ce qui permet de comparer (par des proportions) ces « incomparables » que sont les indivisibles[59]. La proportion qui fonde la méthode pascalienne des indivisibles ne peut exister

59. Rappelons que Leibniz appelait « comparables » les grandeurs homogènes, et « incomparables » les hétérogènes qui sont les infiniment petits : « Je considère que seules sont comparables des grandeurs homogènes, dont le produit de l'une par un nombre, un nombre fini s'entend, peut surpasser l'autre. Je pose donc que des grandeurs dont la différence n'est pas de cette nature sont égales, comme l'admit également Archimède et tout le monde après lui » (*Responsio ad nonnullas difficultates a Dn. Bernardo Niewentiit circa*

que sous la condition de la division indéfinie de la grandeur, et par conséquent d'une erreur qui puisse être rendue moindre qu'aucune grandeur donnée.

Remarquons finalement que la méthode des indivisibles de Dettonville mobilise un modèle de la balance qui fait voir comment des poids disposés le long de l'axe de la balance s'équilibrent. Dans cette procédure, on peut dire, en accord avec *Sagesse* 11, 21, que trois dimensions interviennent. Il faut d'une certaine manière comparer les poids (Statique) pour savoir s'il y aura équilibre ; Pascal le fait par le moyen de sommes triangulaires (Arithmétique), pour des problèmes sur des aires et centres de gravité (Géométrie).

« Peser », avec toute la complexité de cette méthode, est ainsi comparer des « poids » — des « petites portions » indéfiniment petites qui, en principe, ne seraient pas comparables — aux grandeurs finies qu'elles constitueront, la comparaison n'étant possible, nous l'avons vu, que grâce aux sommes indéfinies qui opèrent sur les portions indéfiniment petites[60]. Voici la « pondération » des indivisibles qui constitue une des formes de comparaison des incomparables que nous identifions chez Pascal.

5. Où se comparer à l'infini mène-t-il ?

Nous considérons ainsi la « comparaison des incomparables », autant sous la forme de l'analogie de disproportion que dans les procédures de la pratique mathématique qui relient le fini et l'infini.

Mais que veut dire « comparer l'incomparable » ? Pour nous, la comparaison des incomparables désigne le rapprochement de deux choses qui sembleraient être inconciliables — un mouvement du langage qui articule ce qui, du fait de certaines contraintes conceptuelles, serait en principe séparé.

Methodum differentialem seu infinitisimalem motas, *Acta Eruditorum*, juillet 1695, dans Leibniz 1960-1961, V, p. 322 ; trad. de Parmentier, dans Leibniz, 1995, p. 327).

60. Il est vrai que dans le *Traité des sinus du quart de cercle*, Pascal présente l'égalité entre chaque touchante EE et chaque petit arc DD correspondant, comparabilité qui est alors affirmée hors d'une somme (et donc sans la réciprocité que nous soulignons). Néanmoins, la condition d'indéfinéité y est présente, car Pascal écrit : « puisqu'on sait assez qu'encore que cette égalité ne soit pas véritable quand la multitude des sinus est finie, néanmoins l'égalité est véritable quand la multitude est indéfinie » (OC IV, pp. 479-480), de manière que l'égalité n'est valable que pour une multitude indéfinie de portions indéfiniment petites. Nous espérons traiter ce sujet dans de futurs travaux. Voir Cortese (à paraître).

Chez Pascal, la rupture par excellence est celle entre le fini et l'infini ; néanmoins, nous avons vu que la distance la plus improbable d'entrer dans une relation, la distance infinie, apparaît chez lui à l'intérieur de comparaisons.

Dans le plan ontologique et théologique, le rapport entre le fini et l'infini se trouve dans la discussion du rapport de la créature au Créateur. Dans la présente section, il importe de prendre cela en compte par rapport au langage théologique, discutant le rôle que l'analogie peut y jouer. Cela servira pour qu'on discute plus en détail la nature de l'analogie de disproportion[61].

5.1. À la ressemblance et à la dissemblance

Il est généralement admis que l'analogie est toujours composée aussi bien de ressemblances que de dissemblances, étant placée entre l'univocité et l'équivocité. Une identité parfaite ne comporterait pas de dissemblances ; d'autre part, si elle n'était que dissemblances, elle serait pure différence et il n'y aurait pas de raison de la considérer comme une comparaison (autre que la pure différence).

Dans l'analogie classique à quatre termes, il y a dissemblance entre les deux domaines comparés, et il y a ressemblance entre les deux rapports, intérieurs à chaque domaine. Au contraire, dans l'analogie de disproportion, la dissemblance (sous la forme de disproportion, d'hétérogénéité, de distance infinie) apparaît entre les éléments *du même domaine*. C'est plutôt le rapport de disproportion qui est semblable à un autre rapport de disproportion. Si dans l'analogie classique, on retrouvait la possibilité que la ressemblance entre des rapports « glisse » jusqu'à montrer une ressemblance entre les éléments eux-mêmes, cela ne saurait être le cas dans l'analogie de disproportion.

Si on revient à Aristote, on découvre que « bien métaphoriser c'est bien apercevoir les ressemblances » (*Poétique*, 1459a8 ; trad. dans Ricoeur, 2007, p. 33). Si l'on considère le quatrième type de métaphore indiqué par Aristote (la métaphore selon la proportionnalité), la ressemblance tient une grande importance : « le quatrième terme se comporte par rapport au troisième de la même manière (*homoiôs ekhei*, *Poétique*, 1457b20) que le deuxième par rapport au premier ; le grand âge est à la vie *comme* le soir est au jour » (Ricoeur, 2007, p. 30). Si l'on traduit *hómoios* par « semblable », il est bien question de similitude dans la métaphore selon la proportionnalité. C'est ainsi que le poète est celui qui « aperçoit le semblable » :

61. Certes, la question de l'importance, pour la théologie, de l'analogie de disproportion serait à développer bien davantage ; contentons-nous, ici, de n'indiquer que certains éléments.

> « Il faut, quand on emploie la métaphore, [...] la tirer d'objets propres (au sujet), mais non pas trop évidents. En philosophie, par exemple, tu dois viser à considérer le semblable [*tò hómoion*] dans tels objets qui ont entre eux une grande différence [*en polú diékhousi*]. C'est ainsi qu'Archytas a dit : "Un arbitre et un autel sont la même chose, car vers l'un comme vers l'autre se réfugie l'homme qui a subi une injustice". Ou, comme si l'on disait qu'une ancre est la mène chose qu'une crémaillère, car toutes deux font une même chose, seulement elles diffèrent en ce que l'une la fait par en haut, et l'autre par en bas » (Aristote, *Rhétorique*, III, 11, 1412a10-15 ; trad. de Ruelle dans Aristote, 1883, p. 329).

L'exemple d'Aristote nous parle : il faut trouver des ressemblances même là où on ne les trouvait pas lors d'une première approche. Malgré les différences apparentes, on peut retrouver une unité par la ressemblance[62].

Quand il s'interroge si l'ordre surnaturel peut être connu à partir de l'ordre naturel, J. Maritain écrit :

> « L'analogie est chose délicate et d'un maniement difficile. Le danger de prendre une analogie entre termes essentiellement distincts, et même distants à l'infini (tellement qu'un des analogués est formellement divin par participation, et que l'autre peut être peccamineux) pour une continuité de nature ou de tendance, a toujours existé, Platon et bien des hérésies mystiques en sont témoins » (Maritain, 1935, p. 559, note).

Comme nous le proposons avec l'analogie de disproportion, il est possible de mettre en rapport des termes infiniment éloignés sans pour autant ignorer leur distinction : *distinguer pour unir*[63]. L'analogie, ainsi, n'est pas simple ressemblance, ni simple ressemblance structurelle (quoique la structure soit né-

62. « Ce n'est pas par un effet de négligence qu'Aristote désigne le "semblable" comme le "même" : voir le même dans le différent, c'est voir le semblable. Or c'est la métaphore qui révèle la structure logique du "semblable", parce que, dans l'énoncé métaphorique, le "semblable" est aperçu *en dépit* de la différence, *malgré* la contradiction. La ressemblance est alors la catégorie logique correspondant à l'opération prédicative dans laquelle le "rendre proche" rencontre la résistance de l'"être éloigné" ; autrement dit, la métaphore montre le travail de la ressemblance, parce que, dans l'énoncé métaphorique, la contradiction littérale maintient la différence ; le "même" et le "différent" ne sont pas simplement mêlés, mais demeurent opposés. Par ce trait spécifique, l'énigme est retenue au cœur de la métaphore. Dans la métaphore, le "même" opère *en dépit* du "différent" » (Ricoeur, 2007, pp. 249-250).

63. C'est le titre du livre de Maritain qui reprend le Concile de Chalcédoine, selon lequel la distinction entre les deux natures du Christ n'empêche pas leur union.

cessaire pour distinguer l'analogie d'autres types de ressemblance, comme la métaphore et la comparaison en général). L'analogie est un mode de comparaison qui préserve aussi, de manière constitutive, les distinctions. Cela n'empêche pas, pour autant, l'existence d'une unité proportionnelle à partir de l'analogie.

Le rapport entre la ressemblance et la dissemblance est porté à l'extrême dans la forme de l'analogie de disproportion. En tant qu'analogie, celle-ci préserve les différences entre les éléments comparés (et dans ce cas, les relations comparées sont des différences ou des distances). En revanche, dans la formulation d'une analogie de disproportion, on retrouve le mouvement d'identification d'une unité, d'une ressemblance, quoiqu'au sein de la disproportion : on fait ainsi la prédication de la corrélation entre deux différences, et la conscience de l'existence de la distance n'empêche pas que l'esprit ne montre des relations.

Devrait-on dire alors qu'on peut *toujours* trouver une ressemblance entre deux choses ou entre deux relations ? Non, car cela serait justement banaliser l'analogie. L'analogie, nous l'avons vu, est toujours composée aussi bien par des ressemblances que par des dissemblances. Mais s'il n'y a ni totale ressemblance ni totale dissemblance, est-ce que l'une emporte sur l'autre ? Faudrait-il dire que, dans l'analogie de disproportion, la ressemblance prévaut sur la dissemblance ou bien plutôt la dissemblance sur la ressemblance ?

5.2. La dissemblance toujours plus grande

Comme nous l'avons annoncé, il faut considérer plus précisément le rapport entre le fini et l'infini en ce qui concerne la relation entre créature et Créateur afin d'analyser plus profondément la structure de l'analogie de disproportion du point de vue des ressemblances et des dissemblances.

Remarquons tout d'abord que cette relation n'est pas nécessairement symétrique. S. Thomas considère la ressemblance (*similitudo*) de l'homme à Dieu dans la *Summa theologica*, I, *Ia pars*, q. 4, art. 3. Dans sa solution à la question, qui concède l'existence d'une sorte de ressemblance de l'homme à Dieu, Thomas souligne l'asymétrie de la situation, Dieu à son tour n'étant pas semblable à l'homme :

> « Si l'on concède en quelque manière, que la créature est semblable à Dieu, on ne peut aucunement concéder que Dieu soit semblable à la créature ; car, comme l'explique Denys, "la similitude n'est mutuelle qu'entre des êtres appartenant à un même ordre, non entre l'effet et la cause". Ainsi nous disons bien qu'un portrait ressemble à son modèle, mais non que le modèle ressemble à son portrait. De

> même, on peut dire en un certain sens que la créature ressemble à Dieu, mais nullement que Dieu ressemble à la créature » (Réponse à la quatrième objection ; trad. dans Thomas d'Aquin, 2004, t. 1, p. 186).

Il importe aussi de rappeler une déclaration célèbre, faite au cours du IVe Concile de Latran (1215) :

> « *Inter creatorem et creaturam non potest tanta similitudo notari, quin inter eos maior sit dissimilitudo notanda* » (Denzinger et Schönmetzer, 1997, § 432).
>
> « Entre le Créateur et la créature, si grande que soit la ressemblance qu'on note, on doit encore noter une plus grande dissemblance entre eux » (trad. modifiée de Humbrecht, 2005, p. 69).

Cette déclaration lapidaire indique que la dissemblance entre l'homme et Dieu devra toujours être connue comme plus grande que leur ressemblance. Devrait-on pour autant abandonner toute étude rationnelle des mystères divins ?

Quelqu'un pourrait demander comment il a pu se faire, en revanche, que le Concile du Vatican I ait déclaré que la raison, illuminée par la foi, pourrait arriver à une certaine compréhension des mystères, soit par des analogies avec les choses qu'elle connaît naturellement, soit par la connexion entre les mystères eux-mêmes et avec la fin dernière de l'homme (*Dei Filius* ; voir Denzinger et Schönmetzer, 1997, § 3016).

Comme toujours, il faut prendre les textes dans leur contexte. On sait que la constitution dogmatique *Dei Filius* de 1870, à la suite du Concile Vatican I, allait effectivement contre le fidéisme (cf. Melchiorre, 2006). Ce document proposait en effet que Dieu puisse être connu de manière certaine par la raison humaine dans les choses créées, et le nier, selon cette constitution, serait anathème. Il indiquait aussi, en revanche, que cela ne voulait pas dire que la raison humaine *suffise* à connaître qui est Dieu : la foi va en effet au-delà de la raison.

Les textes cités du IVe Concile de Latran et de *Dei Filius* ne sont alors nullement contradictoires, mais soulignent distinctement la ressemblance ou la dissemblance. En un sens, notre question est ici d'évaluer la position de Pascal vis-à-vis des positions associées à ces deux déclarations. La déclaration du Concile de Latran est certes difficile à justifier philosophiquement : que dire d'une *dissemblance toujours plus grande* ?

E. Przywara a fait, de la célèbre déclaration du IVe Concile de Latran, une des motivations centrales de son importante étude *Analogia entis*. En fait, c'est à partir de cette formule que Przywara (1990) retrouve le noyau de l'*analogia entis* qu'il propose. L'analogie est classiquement un élément d'intermédiation : elle est entre l'univoque et l'équivoque, entre l'un et le multiple. Przywara met encore en lumière une autre dualité : quand on affirme une analogie entre la créature et le Créateur, il s'agit d'affirmer une relation positive, puisqu'il existe une relation, tandis que l'altérité de Dieu, qui va au-delà de toute similitude aux créatures, marque un aspect négatif. Le trait fondamental de l'analogie, que Przywara saisit dans la déclaration de Latran, est que quelque similitude qu'il puisse exister entre créature et Créateur, il y a toujours une dissemblance plus grande[64].

C'est ainsi, dit Przywara, que se révèle le lien le plus profond entre l'*analogia attributionis* et l'*analogia proportionis*[65]. Pour lui, cette « analogie de la dissemblance toujours plus grande » se donne en trois moments. Il y a d'abord une relation positive de simple similitude : *tanta similitudo*. Il s'agit d'une analogie d'attribution qui va de bas en haut, c'est-à-dire, de l'homme à Dieu. Le deuxième moment est marqué par une altérité négative : *maior dissimilitudo*, la dissemblance plus grande. Cette analogie, de proportionnalité, apparaît, car Dieu est toujours au-delà d'un rapport, quel que soit la similitude. Mais il y a un troisième moment que Przywara qualifie par la célèbre phrase *Deus semper maior* de saint Augustin :

> « Nous sommes petits : que Dieu donc nous garde à l'ombre de ses ailes ! Et quand nous serons devenus grands, il nous sera encore utile d'être protégés par le Seigneur, et de nous tenir toujours, comme si nous étions petits, sous ses ailes, parce qu'il sera toujours plus grand que nous : jamais nous ne parviendrons à l'égaler, n'importe à quelle hauteur nous puissions parvenir » (*Enarrationes in psalmos*, 62, 16 ; trad. dans Augustin, 1871, p. 29).

Ce troisième moment relève d'une analogie d'attribution, mais, au contraire de la première, elle ne va pas de bas en haut, mais de haut en bas. Pour Przywara, en effet, bien que l'analogie d'attribution et l'analogie de proportionnalité

64. Przywara suit également S. Thomas qui écrit : « *creaturae* [...] *quamvis aliquam Dei similitudinem gerant in seipsis, tamen maxima dissimilitudo subest* » (*De veritate*, q. 1, a. 10, ad 1 in contr.).

65. Rappelons que l'analogie dite d'attribution apparaît dans le rapport entre deux termes, tandis que l'analogie de proportion (ou de proportionnalité) souligne la ressemblance entre deux rapports, lesquels existent chacun entre deux termes.

soient distinctes, elles renvoient en fait l'une à l'autre. Si, d'abord, il y a un passage d'une analogie d'attribution ascendante à une analogie de proportionnalité, il faut, par la suite, passer de celle-ci à une analogie d'attribution descendante. La conjugaison, pour ainsi dire, de ces deux types d'analogie se retrouve par excellence, selon Przywara, dans la formule du IVe Concile de Latran qui parle de la *plus grande ressemblance* et de la *toujours plus grande dissemblance*[66].

La différence entre le mouvement de bas en haut ou de haut en bas peut être expliquée par le fait que l'existence d'une similitude entre la créature et le Créateur ne justifie pas une similitude entre le Créateur et la créature. Przywara propose que dans ce « retour » à une autre analogie d'attribution, la « dissemblance toujours plus grande » gagne un sens positif. Dans le « rythme » de l'analogie, Przywara retrouve un lien entre l'analogie horizontale entre les créatures et l'analogie verticale entre l'homme et Dieu. Par ailleurs, il conjugue les ressemblances et les dissemblances dans l'*analogia entis*, en développant la formule du IVe Concile de Latran d'une manière qui nous inspirera dans notre propre analyse de l'analogie de disproportion.

En effet, la présence importante de l'infini et du néant dans toute l'œuvre pascalienne requiert de revenir à la structure de l'analogie de disproportion : si dans la première formulation que nous en avons donnée, on pouvait avoir affaire à des comparaisons « horizontales » de différences, il faut considérer maintenant le fait que l'analogie de disproportion introduit une « verticalité » propre à la considération de l'infini.

Pour ce qui est de la capacité humaine de parler de Dieu, il est intéressant de prendre en compte la notion d'une « dissemblance toujours plus grande », même si Pascal ne cite pas la formule du IVe Concile de Latran : la question, elle, est présente chez Pascal[67].

L'analogie de disproportion réalisera alors non seulement la comparaison des différences et des distances, mais également la comparaison entre le fini et l'infini. On retrouvera donc une tension entre continuité et discontinuité dans ces comparaisons. Dans ce sens, la citation d'un commentateur, peu lu, de Pascal nous vient en aide :

66. Il faut noter que c'est Przywara qui fait de la *maior dissimilitudo* une *semper maior dissimilitudo*, en réalité combinant la formule du IVe Concile de Latran avec la déclaration d'Augustin.
67. Rappelons que, dans la formule citée, on lit *maior dissimilitudo*, mais nous suivons Przywara, en partant du *semper maior* d'Augustin pour parler d'une *semper maior dissimilitudo*.

> « Peut-être en effet s'est-il habitué [le lecteur], au contact de la théologie dialectique, à voir dans l'accent mis sur l'impossibilité d'aller du monde à Dieu la note caractéristique de la pensée chrétienne. Dans ce cas, employer pour Dieu la catégorie de l'absolu, voir le fini dans un rapport positif avec Dieu, parler d'"analogie", accepter une possibilité quelconque d'aller directement du fini à Dieu, tout cela apparaît *a priori* comme non chrétien. Seule est reconnue chrétienne la manière de penser qui coupe tous les liens ; qui place le fini, par rapport à Dieu, dans une dissemblance absolue, bien mieux dans une contradiction spécifique, conditionnée par le péché ; qui n'admet pour le fini qu'une situation, celle du coupable ; et qui ne tolère d'affirmations en matière religieuse que sous la forme paradoxale. [...] Néanmoins je crois apercevoir que ce n'est pas là du tout la pensée "chrétienne", mais seulement une structure psychologique déterminée : celle qui repose sur une véritable affinité avec la discontinuité de l'être. Dans son regard, dans la manière même dont cette pensée aborde l'être, y compris le sien, c'est l'hétérogénéité de l'être, ce sont ses déchirures, ses tensions, ses contradictions, qui apparaissent en relief. [...] On peut montrer qu'elle est exactement symétrique d'une structure opposée, qui justement la ressentirait elle-même comme non-chrétienne [...] si elle se laisse prendre en charge par la foi, elle constitue une possibilité précieuse dans l'ordre chrétien. Possibilité, disons-nous : elle n'est pas plus que cela, mais elle est vraiment une possibilité réelle et précieuse. Il en est de même d'ailleurs de l'autre structure, celle qui part de la continuité, de la légitimité des énonciations directes » (Guardini, 1951, p. 176, note).

Guardini exprime très bien le fait que considérer la continuité ou la discontinuité n'est pas *en soi* un trait distinctif de la pensée chrétienne (ou de la pensée païenne). Il ne s'agit que d' « une structure psychologique déterminée : celle qui repose sur une véritable affinité avec la discontinuité de l'être ». Nous pouvons en effet considérer soit l'unité soit la discontinuité de l'être. Certes l'unité, un des transcendantaux, serait un attribut divin ; il est difficile, pour une philosophie chrétienne, de soutenir que la diversité l'emporte sur l'unité en Dieu, sous peine de nier que la Trinité ne soit qu'un Dieu. En revanche, la créature — et encore plus le péché et le mal — ont nécessairement une distance au Créateur, et si c'est cela que l'on considère, on trouve « l'hétérogénéité de l'être ». Il s'agit alors d'un choix sur la manière selon laquelle on considère la question, sur le fait qu'on porte plus ou moins d'attention à l'unité ou à la discontinuité.

Cette « dynamique » entre continuité et discontinuité possède un parallèle avec celle entre identité et altérité, et, plus généralement, avec celle entre

ressemblance et dissemblance. Voilà toute notre question : quelle pondération existera entre chacun de ces pôles ?

Nous croyons que l'ordre de présentation est ici fondamental. Ce n'est pas la même chose de dire qu'un article est bon, mais trop long, ou de dire qu'un article est trop long, mais bon.

On peut alors formuler deux structures générales de prédication, qui peuvent être ainsi présentées : 1) *Oui, mais non* ; 2) *Non, mais oui*. On y voit deux mouvements essentiels de l'esprit, qui font prédominer la ressemblance ou la dissemblance, la continuité ou la discontinuité, et en premier lieu, le *oui* ou le *non*. L'analogie « classique » semble être en général un mouvement du type qui affirme la similitude au-dessus des différences. Il s'agit alors d'un mode de comparaison *affirmatif*, si l'on peut dire. D'autre part, dans le mouvement indiqué par le *oui, mais non* il y a un aspect *restrictif* : une conclusion est valable pour une condition donnée, *mais non pas* pour une autre. Quant à l'analogie de disproportion, serait-elle un mode de dire *oui, mais non* ou de dire *non, mais oui* ?

On pourrait d'abord croire qu'il s'agit de la deuxième forme : dans l'analogie de disproportion, on identifie d'abord des discontinuités pour ensuite affirmer une similitude entre elles. D'où un aspect négatif identifié d'abord, et une ressemblance identifiée *sur* cet aspect négatif : *il y a plus grande dissemblance*, « et néanmoins il est nécessaire d'en dire quelque chose », si on veut reprendre les mots de Pascal (OC III, p. 393). En effet, cette caractérisation est en accord avec notre formulation de l'analogie de disproportion, et nous continuerons à la prendre en compte. Mais elle ne suffit pas face à un fait important : si ce qui est recherché est une proportion dans laquelle l'infini préserve toujours sa transcendance, si on considère un rapport à Dieu dans lequel il est *semper maior*, il y a une « dissemblance toujours plus grande ».

Passerait-on alors au *oui, mais non*, en perdant la ressemblance qui résultait du fait même de faire une prédication ? Nous croyons plutôt qu'on retrouve, dans l'analogie de disproportion, un type de conjugaison dynamique entre les deux formes du *non, mais oui* et du *oui, mais non*.

D'une part, on retrouve le mouvement de l'identification d'une ressemblance en dépit des dissemblances. Autant dire qu'à une dissemblance (ou une négation) initiale, l'esprit appose une ressemblance ou une unité. Cela, nous semble-t-il, *rend possible le discours théologique* : une « positivité » restreinte qui n'a de place qu'à partir d'une différence initiale entre l'homme et Dieu.

L'erreur, associée à cette position, serait de croire qu'on peut tout connaître des mystères divins.

D'autre part, on retrouve le mouvement d'une dissemblance plus grande que toute ressemblance : à une ressemblance apparente, l'esprit rappelle la transcendance absolue qu'il y a de Dieu à l'homme, et que les prédications ne peuvent être faites que d'une manière restreinte. Cela, nous semble-t-il, indique *les limites du discours théologique*. L'erreur, associée à cette position, serait le fidéisme, ou le silence absolu.

On pensera tout de suite à une théologie négative : ne serait-elle pas l'indication de cette limitation par excellence ? Nous croyons que, pour Pascal, si on voulait parler de théologie négative, il faudrait utiliser l'expression dans un sens restreint, car en même temps Pascal ne nie pas absolument la possibilité de prédication : il y a bien, nous l'avons dit, une conjugaison dynamique entre prédication et restriction de cette prédication. On reconnaît le « schéma » de saint Thomas dans lequel on affirme, on nie, et on affirme par la voie d'éminence. Plus généralement, P. Secretan déclare que l'analogie théologique médiévale est caractérisée par un « rythme spécifique » :

> « celui de l'*affirmation* (Dieu est sage) de la *négation* (Dieu n'est pas sage au sens humain du terme), Dieu est éminemment sage, sage d'une Sagesse incomparable » (Secretan, 1984, p. 33).

Secretan propose ainsi que l'analogie théologique affirme une « semblance » pour ensuite la nier comme « dis-semblance » et la réaffirmer comme « re-semblance ». Il s'agit d'une analogie qui préserve la transcendance, la différence absolue de Dieu. Voici encore la « dynamique » de l'analogie de disproportion. Nous avons parlé d'un « mouvement » et d'une « forme », mais le terme de Przywara d'un « rythme », repris par Secretan, semble être une très bonne caractérisation de la structure de l'analogie de disproportion.

Des affirmations et des négations s'alternent alors dans le « rythme » de l'analogie de disproportion, à la manière du « renversement du pour au contre » pascalien. C'est dans cette tension que nous retrouvons l'analogie de disproportion, qui convient bien à l'œuvre pascalienne, elle-même en tension entre le rapport et la disproportion. Mais la tension est-elle le dernier pas de l'analogie de disproportion ?

Nous avons vu que pour le poète bien métaphoriser est bien « apercevoir le semblable » (Aristote, *Poétique*, 1459a7). Dans ce sens, et en tant que l'analogie est effectivement *affirmée* (au lieu d'être un silence devant l'inexprimable), elle est *positive*, car elle dit quelque chose, et cela est une ressemblance, même

si des différences extrêmes existent — et cela même dans le cas de l'analogie de disproportion. Il semblerait alors que, *dans l'ordre de l'énonciation, la ressemblance est plus grande que la dissemblance*.

En revanche, entre l'homme et Dieu il y a une dissemblance toujours plus grande, qu'aucune prédication ne saurait dépasser. Cela est clair pour Pascal qui ne peut accepter nul rapport de l'homme à Dieu : « Il n'y a nul rapport de moi à Dieu, ni à Jésus-Christ juste » (Sel. 751, Laf. 919). Il semblerait alors que, *dans l'ordre de l'être, la dissemblance est plus grande que la ressemblance*.

Il faut cependant dire que ressemblance et la dissemblance se « conjuguent » selon le « rythme » de l'analogie que nous avons proposée. En effet, l'« horizon » de l'analogie de disproportion n'est pas une simple tension entre ressemblance et dissemblance, mais leur union même. Si cela n'advient pas dans l'analogie de disproportion elle-même, qui opère toujours avec le positif et le négatif dans une dynamique, on trouve chez Pascal un point dans lequel les deux infinis se retrouvent : grâce au Christ, les contrariétés s'accordent.

Dans l'*Entretien avec M. de Sacy*, Pascal écrit que la vérité des évangiles peut accorder les contrariétés « par un art tout divin »

> « unissant tout ce qu'il a de vrai et chassant tout ce qu'il y a de faux, elle en fait une sagesse véritablement céleste, où s'accordent ces opposés qui étaient incompatibles dans ces doctrines humaines. Et la raison en est que ces sages du monde placent les contraires dans un même sujet ; car l'un attribuait la grandeur à la nature et l'autre la faiblesse à cette même nature, ce qui ne pouvait subsister ; au lieu que la foi nous apprend à les mettre en des sujets différents ; tout ce qu'il y a d'infirme appartenant à la nature, tout ce qu'il y a de puissance appartenant à la grâce.
>
> Voilà l'union étonnante et nouvelle qu'un Dieu seul pouvait enseigner, et que lui seul pouvait faire, et qui n'est qu'une image et un effet de l'union ineffable de deux natures dans la seule personne de l'Homme-Dieu » (Pascal, 1994, pp. 125-126).

Il s'agit alors de dire que, en dépit de toute limitation du langage et de la raison humains, Pascal reconnaît une effective possibilité de l'union des contrariétés, par la Révélation. Cela n'est pas étranger au fait qu'on peut dire que le fini et l'infini ont un point de contact privilégié dans l'histoire : l'Incarnation[68].

68. C'est ainsi que nous sommes d'accord avec Magnard pour reconnaître que, malgré le manque de proportion et de référence, l'homme peut en fait retrouver une vraie réponse dans la personne du Christ : « Au cœur du péril est apparu le salut. Le chemin de mi-

6. Conclusions

Bien que Pascal soit en effet un auteur chez qui la disproportion trouve énorme importance, nous avons essayé de montrer que cela ne saurait empêcher que des comparaisons puissent être réalisées entre des distances infinies, des disproportions et des hétérogènes. Nous avons montré que cela se passe autant dans l'élaboration du langage, sous la forme de l'« analogie de disproportion » (par exemple dans l'*Esprit géométrique*), que dans la pratique mathématique de la méthode pascalienne des indivisibles.

Certes, si on veut, tout est comparable à tout, dans un sens trivial. Les abus de la métaphore et de l'analogie sont en effet dangereux, et admettre son usage de manière indistincte serait banaliser et le langage et la pensée. Au temps de la « déconstruction », on peut néanmoins répondre à la position selon laquelle comparer des différences implique que tout soit comparable à tout, en précisant ainsi notre thèse : *tout est comparable à quelque chose, sans que tout soit comparable à n'importe quoi*. Nous croyons que Pascal a bien saisi cela, et que le statut des comparaisons dans sa pensée permet de voir comment il a bien saisi les limites de la rationalité sans que cela ne l'amenât à se taire.

En fait, la comparabilité des choses dépend fondamentalement de l'aspect qu'on en saisit. Il faut alors considérer le caractère *relationnel* de certains éléments. Ainsi, une équivalence non triviale montre que deux choses apparemment dissemblables (ou dissemblables selon un certain aspect) sont d'un certain point de vue comparables. C'est le cas, chez Pascal, non seulement pour ce qui est des analogies de disproportion, mais aussi pour la pratique mathématique, qui comprend l'infini en poids, nombre et mesure.

Un motif pour parler de comparaison entre des disproportions repose sur un fait très simple : étant mathématicien, Pascal est quelqu'un qui reconnaît des relations ; d'autre part, étant un penseur qui réfléchit sur les limitations de la raison, il reconnaît la disproportion de l'homme à Dieu ainsi que d'autres discontinuités. C'est cette articulation (et cette tension) entre une relation et une rupture, entre la ressemblance et la dissemblance, qui est caractéristique de l'analogie, et qui apparaît chez Pascal renversée, mais toujours existante.

---

sère s'est inversé en voie de vérité et de vie. Quand l'image théophanique révèle son sens caché, l'infinitisme cesse d'être source d'apories pour devenir source de solutions. Que "les extrêmes se touchent" n'est plus égarant s'ils "se retrouvent en Dieu et en Dieu seulement". De subversive l'équivalence des contraires devient rédemptrice, quand le monde cassé de notre désespoir fait place à cette structure omnicentrée du corps mystique de Jésus-Christ » (Magnard, 1981, p. 13).

Il ne s'agit pas de croire que les comparaisons peuvent faire comprendre Dieu complètement. Le Dieu de Pascal, on le sait bien par son Mémorial, est le « Dieu d'Abraham, Dieu d'Isaac, Dieu de Jacob, non des philosophes et des savants » (OC III, p. 50). Nous ne pouvons pas proprement connaître l'infini — ce dont on peut avoir une certaine connaissance n'est que de la *relation* du fini à l'infini. Il s'agit certes, même là, d'une connaissance imparfaite. Mais c'est déjà un repère à partir duquel on peut comparer l'infini. Pascal reconnaît les ruptures, et leur irréductible incompréhensibilité, devant lesquelles « l'homme n'est qu'un roseau, le plus faible de la nature » (Sel. 231, Laf. 200), mais nous avons montré aussi que « c'est un roseau pensant », et que « néanmoins il est nécessaire » de « dire quelque chose » sur les disproportions : Pascal compare les incomparables.

Remerciements

Je tiens à remercier Jean-François Stoffel pour sa lecture attentive de cet article, ainsi que les deux experts anonymes, l'un d'entre eux plus particulièrement, pour leur analyse critique aiguë des arguments ici présentés. Je remercie aussi Dominique Descotes, Jean-Robert Armogathe et Laurent Thirouin pour des avis sur l'établissement du texte et sur le sens du fragment *Infini rien*. Évidemment, toutes les fautes qui restent sont de mon entière responsabilité.

Bibliographie

Archimède (trad. 2002). *Œuvres*. Tome II. Paris : Les Belles Lettres. Édit. orig. : 1971.

Aristote (trad. 1883). *Poétique et Rhétorique*. Trad. de Ch. Émile Ruelle. Paris : Garnier Frères.

Ashworth, J. E. (2010). Review of J. P. Hochschild, « The Semantics of Analogy : Rereading Cajetan's De Nominum Analogia ». *Notre Dame Philosophical Review*. Publié le 16 juillet 2010. Récupéré le 10 février 2021 de : https://ndpr.nd.edu/news/the-semantics-of-analogy-rereading-cajetan-s-de-nominum-analogia/.

Augustin (trad. 1871). *Œuvres complètes de saint Augustin*. Éd. M. Poujoulat et J.-B. Raulx, t. IX : *Semons, quatrième série : Sermons sur les Psaumes*. Bar-le-Duc : Louis Guérin.

Balthasar, H. U. von (1972). *La gloire et la croix : les aspects esthétiques de la révélation*. Tome II : *Styles*. 2e partie : *De Jean de la Croix à Péguy*. (Théologie ; 81). Paris : Aubier.

La Bible (trad. 1702). *La Saint Bible traduite en françois, le latin de la vulgate à côté* (traduction de Lemaiste de Sacy, trois tomes). Liège : Jean-François Broncart.

Cajétan. (trad. 1987). De l'analogie des noms. Dans Pinchard, B. *Métaphysique et sémantique, autour de Cajetan, étude et traduction du « De nominum analogia »* (pp. 113-166). Paris : Vrin.

Carraud, V. (1992). *Pascal et la philosophie*. Paris : Presses universitaires de France.

Cortese, J. F. N. (2015). Infinity between mathematics and apologetics : Pascal's notion of infinite distance. *Synthese*, 192(8), 2379-2393.

Cortese, J. F. N. (2016). Pierre Duhem interprète de Blaise Pascal : analogias en el seño de discontinuidades. Dans Márquez, V. M. H. (éd.). *Pierre Duhem : entre física y metafísica* (pp. 45-68). Barcelona, Ciudad Juárez : Anthropos Editorial, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Cortese, J. F. N., & Rabouin, D. (2019). Sur les indivisibles chez Pascal. Dans Cousson, A. (dir.). *Passions géométriques : mélanges en l'honneur de Dominique Descotes* (pp. 425-439). Paris : Honoré Champion.

Cortese, J. F. N. B. (à paraître). *Infini et disproportion chez Pascal*. Paris : Honoré Champion.

Denzinger, H., & Schönmetzer, A. (éds). (1997). *Enchiridion symbolorum definitionum et declarationum de rebus fidei et morum*. Freiburg, Basel, Rome & Vienna : Herder.

Descotes, D. (1993). *L'argumentation chez Pascal*. Paris : Presses universitaires de France.

Descotes, D. (2001a). *Blaise Pascal : littérature et géométrie*. Clermont-Ferrand : Presses universitaires Blaise Pascal.

Descotes, D. (2001b). La rhétorique des expériences sur le vide. Dans Cléro, J.-P. (éd.). *Les Pascal à Rouen, 1640-1648* (pp. 237-261). Publications de l'Université de Rouen.

Descotes, D. (2010). An unknown mathematical manuscript by Blaise Pascal. *Historia Mathematica*, 37, 503-534.

Descotes, D. (2011). Édition électronique des Pensées de Blaise Pascal. Étude des manuscrits et des éditions des *Pensées*, transcriptions diplomatiques et savantes : Gilles Proust. Étude littéraire des *Pensées*, transcription moderne proposée dans l'édition : Dominique Descotes. http://www.penseesdepascal.fr/.

Descotes, D. (2015a). Pascal's indivisibles. Dans V. Jullien (éd), *Seventeenth-Century Indivisibles Revisited* (pp. 211-248). Birkhäuser.

Descotes, D. (2015b). Two jesuits against the indivisibles. Dans V. Jullien (éd), *Seventeenth-Century Indivisibles Revisited* (pp. 249-273). Birkhäuser.

Duhem, P. (1902). *Le mixte et la combinaison chimique : essai sur l'évolution d'une idée*. Paris : C. Naud.

Euclide (trad. 1994-2001). *Les Éléments* (traduction de B. Vitrac ; 4 vol.). Paris : Presses universitaires de France.

Hesse, M. (1966). *Models and Analogies in Science*. University of Notre Dame Press.

Foucault, M. (1966). *Les mots et les choses : une archéologie des sciences humaines*. Paris : Gallimard.

Gabbey, A. (2001). « Pondere, numero et mensura » : Roberval et la géométrie divine. *Revue de synthèse*, 122(2-3-4), 521-529.

Gardies, J.-L. (1984). *Pascal entre Eudoxe et Cantor*. Paris : Vrin.

Guardini, R. (1951). *Pascal, ou le drame de la conscience chrétienne*. Paris : Éditions du Seuil. Édit. orig. : 1935.

Le Guern, M. (1969). *L'image dans l'œuvre de Pascal*. Paris : Armand Colin.

Grattan-Guinness, I. (1996). Numbers, Magnitudes, Ratios, and Proportions in Euclid's Éléments : How Did He Handle Them ?. *Historia Mathematica*, 23, 355-375.

Hara, K. (1981). *L'œuvre mathématique de Pascal* (Memoirs of the Faculty of Letters ; 21). Osaka : Osaka University Press.

Humbrecht, Th.-D. (2005). *Théologie négative et noms divins chez saint Thomas d'Aquin*. Paris : Vrin.

Jullien, V. (2014). Pascal via Duhem et van Fraassen. *Courrier du Centre international Blaise Pascal*, 36, 5-12.

Leibniz, G. W. (1960-1961). *Mathematische Schriften* (C. I. Gerhardt, éd.). Olms, Hildesheim. Édit. orig. : 1849-1863.

Leibniz, G. W. (trad. 1995). *La naissance du calcul différentiel*. Trad. de Marc Parmentier. Paris : Vrin.

Magnard, P. (1981). L'infini pascalien. *Revue de l'éducation philosophique*, 31(1), 2-16.

Magnard, P. (1992). La pensée moderne à l'épreuve de l'infini. Dans Monnoyeur, F. (éd.). *Infini des mathématiciens, infini des philosophes* (pp. 131-145). Paris : Belin.

Magnard, P. (2007). *Pascal : la clé du chiffre*. Paris : La table ronde.

Marion, J.-L. (2009). *Sur la théologie blanche de Descartes : analogie, création des vérités éternelles et fondement.* Paris : Presses universitaires de France. Édit. orig. : 1981.

Maritain, J. (1935). *Distinguer pour unir ou les degrés du savoir*. Paris : Desclée de Brouwer.

Melchiorre, V. (2006). Analogia. Dans *Enciclopedia filosofica Bompiani* (pp. 402-414). Bompiani : Milan.

Merker, C. (2001). *Le chant du cygne des indivisibles : le calcul intégral dans la dernière œuvre scientifique de Pascal*. Besançon : Presses universitaires de Franche-Comté.

Pascal, B. (1659). *Lettres de A. Dettonville : contenant quelques-unes de ses inventions de geometrie. Sçavoir, la Resolution de tous les problemes touchant la roulette qu'il avoit proposez publiquement au mois de juin 1658. L'Egalité entre les lignes courbes de toutes sortes de roulettes, & des lignes eliptiques. L'Egalité entre les lignes spirale, & parabolique, demonstrée à la maniere des Anciens. La Dimension d'un solide formé par le moyen d'une spirale autour d'un cone. La Dimension & le centre de gravité des triangles cylindriques. La Dimension & le centre de gravité de l'escalier. Un Traitté des trilignes & de leurs onglets. Un Traitté des sinus, & des arcs de cercle. Un Traitté des solides circulaires*. Paris : G. Desprez.

Pascal, B. (1964-1992). *Œuvres complètes* (édition de J. Mesnard ; 4 vol.). Paris : Desclée de Brouwer.

Pascal, B. (1994). *Entretien avec M. de Sacy sur Épictète et Montaigne : original inédit* (éd. de J. Mesnard & P. Mengotti-Thouvenin). Paris : Desclée de Brouwer.

Pascal, B. (2000). *Pensées* (édition de P. Sellier ; notes de G. Ferreyrolles). Paris : Le livre de poche.

Pascal, B. (2001). *L'art de persuader, précédé de L'art de conférer de Montaigne* (préface de M. Fumaroli). Paris : Rivages poche.

Pascal, B. (2010). *Les Provinciales* (édition de L. Cognet & G. Ferreyrolles). Paris : Classiques Garnier.

Pécharman, M. (1997). L'ordre dans les trois ordres et l'ordre des trois ordres chez Pascal. *Revue de Métaphysique et de Morale*, (1), 19-40.

Perelman, C. (1989). Analogie et métaphore en science, poésie et philosophie. Dans *Rhétoriques* (pp. 395-409). Bruxelles : Éditions de l'Université de Bruxelles. Édit. orig. : 1969.

Przywara, E. (1990). *Analogia entis* (trad. P. Secretan). Paris : Presses universitaires de France.

Rabouin, D. (2009). *Mathesis Universalis*. Paris : Presses universitaires de France.

Rabouin, D. (2017). Styles in Mathematical Practice. Dans Chemla, K., & Fox-Keller, E. (éds). *Cultures without Culturalism in the Making of Scientific Knowledge* (pp. 262-306). Duke University Press.

Ricoeur, P. (2007). *La métaphore vive*. Paris : Seuil. Édit. orig. : 1975.

Rommevaux, S. (2005). *Clavius : une clé pour Euclide*. Paris : Vrin.

Rommevaux, S. (2012). De la proportion au rapport. Dans Rommevaux, S., Vendrix, P., & Zara, V. (éds). *Proportions* (pp. 17-28). Turnhout : Brepols.

Secretan, P. (1984). *L'analogie* (Que sais-je ?). Paris : Presses universitaires de France.

Secretan, P. (1998). Analogia y Trascendencia : Pascal, Edith Stein, Blondel. *Analogia Filosofica : Revista de Filosofia*, (3), 11-158.

Serres, M. (1968). *Le système de Leibniz et ses modèles mathématiques*. Paris : Presses universitaires de France.

Stevin, S. (1955-1966). *The Principal Works of Simon Stevin* (éd. E. Crone, E. J. Dijksterhuis, R. J. Forbes [et al.] ; 6 vol.). Amsterdam : N. V. Swets & Zeitlinger.

Szabó, A. (1977). *Les débuts des mathématiques grecques*. Paris : Vrin. Édit. orig. : 1969.

Stoffel, J.-F. (2007). Pierre Duhem : Un savant-philosophe dans le sillage de Blaise Pascal. *Revista portuguesa de filosofia*, 63, 275-307.

Thomas d'Aquin (trad. 2004). *Somme théologique*. Paris : Cerf.

ver Eecke, P. (1955). Note sur une interprétation erronée d'une sentence d'Archimède. *L'antiquité classique*, 24(1), 132-133.

Revue des Questions Scientifiques, 2021, 192 (1-2) : 69-91

1937

Année de l'hypothèse des grands nombres

Eve-Aline Dubois
Naxys – ESPHIN
Université de Namur
eve-aline.dubois@unamur.be

Résumé. – En 1937, Dirac propose son hypothèse des grands nombres. À partir de l'étude qu'il fait des constantes de la physique, il bâtit un modèle cosmologique en suivant une approche déductive. Ce faisant, il rejoint une tendance initiée par Eddington et suivie par d'autres. Cette nouvelle méthode interpelle Dingle, qui prend position en faveur de l'induction, en opposition à la déduction. Suite à diverses publications, un débat cosmologique et épistémologique prend place dans les pages de la revue *Nature*. Le présent article propose une revue commentée de cette année particulière, via l'analyse chronologique de diverses contributions. On découvre alors les balbutiements cosmologiques de l'hypothèse des grands nombres, mais on met aussi en lumière l'importante controverse épistémologique qui s'en suivit.

Abstract. – Dirac put forward his Large Numbers hypothesis (LNh) in 1937. Based on his study of physical constants, he built a cosmological model by following a deductive approach. In adhering to this method, he thus joined a trend that had been set in motion by Eddington. This new method countered that of Dingle, who had opted in favour of the opposing camp, namely induction. Numerous publications on this subject sparked a cosmological and epistemological debate within the journal *Nature*. By analysing various contributions in chronological order, the present article offers a commentary on this noteworthy year. The hesitant cosmological beginnings of the LNh are thereby brought to light, as is the major epistemological controversy that ensued.

Mots clés. – Cosmologie — Épistémologie — Grands nombres — Histoire — Modèles hétérodoxes

Plan de l'article

1. Introduction
2. Février : « The Cosmological Constants » de Dirac
3. Mai : « The Cosmological Constants » de Chandrasekhar
4. Mai : « Modern Aristotelianism » de Dingle
5. Juin : Supplément dans « Nature »
   5.1. « On the origin of laws of nature » de Milne
   5.2. « Physical science and philosophy » de Eddington
   5.3. Contribution de Dirac
   5.4. Contribution de McCrea
   5.5. Contribution de Haldane
   5.6. Contribution de Jeffreys
   5.7. Contribution de Campbell
   5.8. Contribution de Filon
   5.9. Contribution de Peddie
   5.10. Contribution de Sampson
   5.11. Contribution de Darwin
   5.12. Contribution de Whitrow
   5.13. Contribution de McEntegart
   5.14. Contribution de Stafford Hatfield
   5.15. Contribution de Dawes Hicks
   5.16. « Deductive and inductive methods in science: a reply » de Dingle
6. Variation des constantes et création de matière après 1937
7. Conclusion

1. Introduction

Le début du XXe siècle a été synonyme de révolutions dans le champ de la physique. La mécanique classique a été supplantée par la mécanique quantique, d'une part, et par la théorie de la relativité, d'autre part. Cette dernière présente l'avantage de résoudre quelques problèmes de la gravitation newtonienne, tels que l'avance du périhélie de Mercure. De plus, la relativité générale a permis d'élargir l'astrophysique à la cosmologie. Ceci est notamment devenu possible lorsque l'on a découvert que les nébuleuses spirales sont beaucoup plus grandes et plus éloignées que ce qui était attendu ; elles sont des galaxies à part entière, au même titre que la Voie Lactée[1].

Quelques modèles cosmologiques ont alors vu le jour, tels que, sans être exhaustif, l'univers statique d'Albert Einstein (1917), l'univers vide de Willem de Sitter (1917) ou l'univers en expansion de Georges Lemaître (1927). Ce dernier suggère un univers dynamique. Après l'agrandissement du cosmos suite à

1. Le lecteur intéressé peut consulter les commentaires du grand débat ayant opposé Shapley et Curtis sur la question de la nature extragalactique des nébuleuses (Shapley & Curtis, 1921).

la découverte de l'existence d'une multitude d'autres galaxies, un second bouleversement s'est produit. Non seulement les nébuleuses sont des galaxies, mais en plus, elles semblent pourvues d'une dynamique (Slipher, 1913). Dans un article de 1929, Edwin Hubble établit une loi reliant la vitesse d'éloignement des nébuleuses extragalactiques à leur distance (Hubble, 1929), apportant une confirmation expérimentale au modèle de Lemaître. Si l'univers s'étend avec une vitesse connue, appelée constante de Hubble, il a dû être plus petit par le passé. Cette idée a été explorée par Lemaître dans son modèle d'atome primitif, aujourd'hui devenu la théorie du *Big Bang* (Lemaître, 1931).

Cependant, la théorie de la relativité ne convainc pas tout le monde comme en atteste le modèle cosmologique de Edward Milne (1934). L'idée principale en est de travailler dans deux référentiels différents, et donc, avec deux coordonnées temporelles distinctes. Ce modèle repose sur ce qui est maintenant appelé la *kinematics relativity*.

C'est dans ce contexte scientifique que Paul Dirac envoie une lettre, devenue célèbre, aux éditeurs de *Nature* (Dirac, 1937a). L'objectif de Dirac est de mettre en avant certaines coïncidences numériques entre les constantes de la physique, comme Arthur Eddington l'a déjà fait par ailleurs (Eddington, 1929). De nos jours, peu de personnes sont familières avec le modèle cosmologique construit par Dirac à la suite de cette lettre (Dirac, 1938) ; et bien moins nombreuses encore sont celles qui ont connaissance du débat, exposé ici, qui a pris place dans la revue *Nature* entre ces deux publications.

Ce travail a pour but de présenter et d'analyser toute la controverse en traversant chronologiquement les publications impliquées. Le débat va être replacé dans son contexte scientifique à partir de la lettre de Dirac datée de février 1937 et exposée en section 2 et de celle, moins connue, de Subrahmanyan Chandrasekhar présentée en section 3 (Chandrasekhar, 1937). L'intervention de Herbert Dingle qui attaque ce qui, selon lui, s'apparente à une nouvelle et mauvaise façon de faire de la science est détaillée en section 4 (Dingle, 1937a). La publication de Dingle déchaîne alors les passions et force la revue *Nature* à dédier un supplément au débat émergent. Cette controverse est exposée, avec force détails, en section 5. L'analyse des diverses interventions se fera à partir de la littérature secondaire, en particulier les ouvrages de Helge Kragh et les travaux de George Gale, en collaboration avec Niall Shanks et John Urani. Si ces références sont très intéressantes, il n'en reste pas moins que leurs propos ne sont jamais entièrement centrés sur la controverse de 1937, contrairement au présent travail qui lui est dédié. Avant de conclure sur l'écho qui pourrait

être donné de nos jours au débat épistémologique, l'auteur présentera quelques répercussions ultérieures à 1937 de l'idée initiale de Dirac dans la section 6.

2. Février : « The Cosmological Constants » de Dirac

Pendant la deuxième décennie du XXe siècle, Arnold Sommerfeld (1916) construit, à partir des constantes fondamentales de la physique, la constante de structure fine[2], nombre pur noté α.

Arthur Eddington a étudié la valeur de cette constante, et pose son inverse comme étant égal à 137 (Eddington, 1929 & 1930). En faisant cela, Eddington devient l'instigateur de plusieurs études des constantes. Selon lui, le travail sur les constantes sans dimension permet de toucher du doigt les principes fondamentaux de la science, puisqu'elles sont indépendantes du choix subjectif d'un système d'unités.

Dans ce contexte, le 5 février 1937, Paul Dirac envoie une lettre aux éditeurs de *Nature*. Ce texte est publié quinze jours plus tard sous le titre *The Cosmological constants* (Dirac, 1937). Dirac se concentre sur de grands nombres tels que le rapport entre les forces électrique et gravitationnelle entre un électron et un proton. Ce rapport a une valeur de 10^{39}, dont le carré correspond au rapport des masses de l'univers et du proton, autour de 10^{78}. De plus, l'âge de l'univers, alors estimé à près de 2 milliards d'années, exprimé en unité atomique de temps[3], vaut lui aussi 10^{39}. Ceci ne peut pas être une coïncidence et amène Dirac à écrire : « Cela suggère que les grands nombres susmentionnés ne doivent pas être considérés comme des constantes mais comme de simples fonctions de notre époque actuelle, exprimée en unités atomiques » (Dirac, 1937)[4]. Ce principe a pour conséquences directes que, d'une part, le nombre de protons et de neutrons doit croître comme le carré de l'époque ; et que, d'autre part, la constante de la gravitation G doit être inversement proportionnelle à l'époque.

2. L'ancienne définition de la constante de structure fine, à partir de la vitesse de la lumière, de la constante de Planck et de la charge de l'électron, est correcte dans le système d'unités CGS ; de nos jours, dans le système d'unités international, sa définition fait aussi intervenir la permittivité du vide.
3. Dirac nomme « époque » le nombre pur construit comme le rapport entre l'âge de l'univers et l'unité de temps atomique. Il travaille alors avec un nombre pur qui porte en lui la variation de l'âge de l'univers.
4. La traduction de toutes les citations a été faite par l'auteur.

L'argument selon lequel il ne peut y avoir de coïncidence est lié au principe de Copernic[5]. L'humanité ne se trouve ni à un endroit spécifique de l'espace ni à un moment particulier du temps. Cette relation entre les ordres de grandeur de ces rapports doit donc être conservée dans le temps et non pas être particulière à l'époque spécifique à laquelle nous vivons.

Travailler avec des constantes de la physique variables peut être vu comme équivalent à la cosmologie d'Edward Milne (1937a). L'idée de Milne était de travailler avec deux systèmes d'unités, surtout pour les coordonnées temporelles. Dirac utilise beaucoup cette idée, jusque dans les années 1970. C'est une manière de conserver les lois de la mécanique dans l'un des systèmes d'unités et de permettre la variation des constantes de la physique dans le second.

Dans la revue *Nature*, après les lettres à l'éditeur, il y a une section *Points from foregoing letters*, où sont brièvement résumées les lettres précédentes. Il s'agit là d'un moyen d'encourager le dialogue. Il est donc possible de trouver une présentation de la lettre de Dirac (Editorial Committee, 1937a). C'est une présentation succincte d'un article qui n'est déjà pas bien long. Mais, néanmoins, tous les éléments importants y sont repris : les coïncidences, leurs conséquences qui sont la variation de la constante gravifique G et de la masse de l'univers, ainsi que le lien aux travaux de Milne. Hélas, en lisant seulement ce résumé, on peut ne pas saisir la motivation générale de Dirac, qui est plus scientifique que ce qui pourrait être perçu de prime abord.

3. Mai : « The Cosmological Constants » de Chandrasekhar

En mai 1937, Subrahmanyan Chandrasekhar publie lui aussi, dans la revue *Nature*, un article intitulé *The Cosmological constants* (Chandrasekhar, 1937). Encouragé par le travail de Dirac, il souhaite partager des coïncidences qu'il a remarquées quelques années auparavant.

À partir des constantes naturelles, plusieurs relations ayant une dimension de masse peuvent être construites. Chacune de ces relations peut caractériser une échelle astrophysique particulière : l'étoile, la galaxie ou l'univers tout entier. En appliquant le principe de Dirac, et donc en considérant la variation de G, ces relations s'avèrent être, elles aussi, dépendantes de l'époque. Chandrasekhar arrive donc à particulariser la variation des masses des étoiles, des

5. Le principe copernicien, selon lequel il n'y a pas de point de vue privilégié dans l'univers, peut être relié aux travaux de Nicolas de Cues et de Giordano Bruno.

galaxies et de l'univers selon leurs différentes échelles. De la matière est créée, mais les taux de création diffèrent selon le milieu considéré.

Le comité éditorial de *Nature* a écrit quelques lignes à propos de cette lettre (Editorial Committee, 1937b). La différence fondamentale entre l'idée de création de matière chez Dirac et Chandrasekhar est que chez le premier, la matière est créée en suivant une certaine relation avec l'âge de l'univers, alors que pour le second, il y a différentes échelles d'objets astronomiques et donc différents taux de création de matière, tous fonctions de l'âge de l'univers, mais suivant différentes lois de puissance. De plus, le raisonnement de Chandrasekhar ne dépend pas de coïncidences telles que la redondance de la valeur 10^{39}. Comme les relations construites semblent être vérifiées et qu'elles dépendent de G, si G varie, les relations établies se doivent de varier à leur tour.

Ainsi, Chandrasekhar et Dirac envisagent la création de matière comme un processus physique possible et cohérent avec leur modèle cosmologique respectif. De nos jours, la création continue de matière n'est considérée que comme l'apanage de la *Steady State Theory* développée par Bondi, Gold et Hoyle à partir de 1948 (voir infra, section 6). L'histoire a eu tendance à oublier les autres modèles stationnaires et les précurseurs des cosmologies requérant de la création de matière.

4. Mai : « Modern Aristotelianism » de Dingle

Une semaine après la publication de Chandrasekhar, Herbert Dingle (1890-1978), physicien et philosophe des sciences, fondateur de la prestigieuse *British Society for the History of Science*, est l'auteur, dans *Nature*, d'un article concernant ce qu'il appelle l'aristotélisme moderne. Dingle distingue deux approches épistémologiques de la science : il oppose les aristotéliciens aux galiléens.

Originellement, l'aristotélisme était l'idée que la nature est l'expression de principes généraux connus par l'esprit humain sans le biais de la perception sensible. Les aristotéliciens agissent comme si l'esprit humain avait accès à la connaissance des principes régulateurs de la nature. Dans cette vision, la raison peut percevoir le cours de l'expérience sans avoir recours à l'expérience en tant que telle.

Dans l'approche galiléenne, la nature est indépendante. L'esprit humain peut uniquement observer et tenter de décrire ce qu'il perçoit. La raison peut, tout au plus, essayer de corréler les observations dans un système logique.

En opposant ces deux approches, Dingle interroge ce qu'est la science. La question n'est plus de savoir comment bien faire les choses, mais, plus important, quelles choses doivent être faites. Doit-on déduire, à partir de principes généraux, des conclusions particulières ou doit-on induire, à partir des observations, des principes généraux ?

Selon Dingle, Galilée aurait généralement approuvé la science moderne jusqu'aux années 1930, moment où Dingle semble assister au renouveau de l'aristotélisme. Ce n'est plus l'aristotélisme originel, mais une forme évoluée semblable à une idolâtrie où l'Univers prend la place d'un dieu. Ce type de science transcende les observations et ne peut pas être obtenu par induction à partir des seules expériences. Dingle est donc surpris de l'acceptation générale de cette mouvance, ou tout du moins par l'absence de protestation.

Herbert Dingle illustre son propos à l'aide de trois exemples célèbres. Pour le premier, Dingle s'intéresse à Arthur Eddington qu'il considère comme un aristotélicien, surtout à cause de son interprétation de la constante cosmologique comme une constante de la nature. Cependant, puisque Dingle porte une grande estime à Eddington et ne peut imaginer que celui-ci soit victime d'une pareille chimère, il pense qu'en pratique, Eddington réfute son propre *credo*.

Edward Milne est le deuxième à être pris à parti. Les critiques de Dingle portent surtout sur le principe cosmologique, qui permet d'étendre la physique étudiée sur Terre à l'ensemble de l'univers afin de pratiquer la cosmologie. Du point de vue de Dingle, cette hypothèse invente un univers sur lequel travailler, mais qui est distinct de celui que l'on observe.

Enfin, Dingle en arrive à Paul Dirac, victime lui aussi de la grande « *univers-mania* ». Ce que Dingle retient contre Dirac c'est que celui-ci souhaite expliquer les grands nombres différemment des petits. Sceptique, Dingle souligne que, face à l'infinité des nombres, il est difficile de tracer la frontière séparant les petits nombres des grands.

L'objectif de l'article de Dingle est de faire resurgir le débat sur les fondements de la science : savoir si elle est issue de l'observation ou si elle est pure invention. Étrangement, Dingle semble vouloir imposer une manière de penser et de faire aux scientifiques, reniant ainsi sa propre formation de physicien.

Cette publication a provoqué son lot de réactions. Avant de les analyser, il y a quelques remarques qui doivent être faites. Tout d'abord, l'emploi d'Aristote en tant que modèle de référence pour l'approche déductive est discutable.

Comme Eric Temple Bell l'a judicieusement noté (Bell, 1946, p. 408), la déduction est plus la caractéristique d'une science issue du platonisme pythagoricien. En effet, cette approche philosophique de la science repose sur une conception très intellectuelle selon laquelle la nature peut être comprise seulement par l'esprit humain. L'homme de sciences qu'a été Aristote était convaincu de l'importance et du rôle primordial des observations et de l'expérimentation. En choisissant Aristote comme figure de proue de la méthode déductive, Dingle commet une erreur historique.

Ensuite, on peut s'interroger sur la réaction que suscite le principe cosmologique utilisé par Milne. Cette idée est en directe continuité avec le principe d'universalité des lois de la physique. La science repose sur l'hypothèse que les expériences et leurs résultats sont indépendants de leurs localisations spatiale et temporelle. Et, étrangement, alors que ce principe est déjà présent dans des travaux antérieurs largement acceptés, par exemple dans l'article d'Einstein (1917) ou de Howard Robertson (1929), Dingle attaque uniquement l'usage qu'en fait Milne.

Enfin, la lettre écrite par Dirac peut certainement être critiquée ; mais, l'attaquer sur la définition de ce qu'est un grand nombre par rapport à l'infini, est plutôt immature, et porte à penser que Dingle n'a pas saisi les subtilités de l'argumentaire de Dirac.

Que le lecteur ne perde cependant pas de vue le contexte historico-politique très particulier que connaît l'Europe en 1937. La tentative de Dingle de défendre une science britannique n'est certainement pas sans lien avec les deux régimes politiques contemporains qui tentent d'imposer leur point de vue dans tous les domaines, même dans le champ de la science. Dingle est certainement motivé par un intérêt nationaliste, ce qui expliquerait sa mise en exergue de la première charte de la *Royal Society*. Le fait que le débat exposé ci-après n'ait réuni que des savants issus de Grande-Bretagne n'a pas dû entièrement déplaire à Dingle.

5. Juin : Supplément dans « Nature »

En juin 1937, la revue *Nature* a publié un supplément dédié au débat initié par l'article d'Herbert Dingle, lui-même réponse à la lettre de Paul Dirac. Le comité éditorial a décidé de rassembler, en un supplément, les nombreuses réactions reçues.

Un supplément similaire avait déjà été publié en 1931 (*Nature*, 1931). Il était alors question de l'évolution de l'univers. L'introduction de ce débat avait été signée des initiales H. D. et peut très certainement être attribuée à Herbert Dingle. Ce débat-là avait eu un rayonnement plus large, car il avait vu intervenir, entre autres, Georges Lemaître (Louvain), Willem de Sitter (Leyde) et Robert Millikan (Pasadena).

En 1937, puisque Dingle a nommément critiqué Edward Milne, celui-ci est choisi pour publier sa réponse en premier lieu. Arthur Eddington poursuit le débat en l'orientant vers le lien entre la physique et la philosophie. Ensuite, Paul Dirac prend part à la discussion, répondant sommairement aux reproches émis par Dingle. Après ces trois contributions, plusieurs auteurs partagent leurs points de vue. La conclusion du supplément est laissée à Dingle.

5.1. « On the Origin of Laws of Nature » de Milne

La contribution d'Edward Arthur Milne (1896-1950), astrophysicien britannique alors professeur à l'université d'Oxford, n'est rien de plus que la synthèse de ses travaux précédents (Milne, 1937b). Milne confirme l'utilisation du principe cosmologique, hypothèse selon laquelle l'univers a partout les mêmes propriétés. Cependant, ceci n'est pas à mettre en lien avec un quelconque corpus ou une loi de la nature, mais se résume à une question d'économie de pensée. Milne a étudié les conséquences de cette hypothèse sans aucun recours aux lois empiriques de la nature.

Quand Milne mentionne que la physique doit se comporter comme la géométrie, il ne s'agit pas là d'une *sur-mathématisation* de la science. Il ne fait qu'exprimer son rêve de voir la physique devenir un système complet d'axiomes et de théorèmes comme l'est la géométrie euclidienne. De plus, Milne n'a pas renié le rôle des observations. En fait, il leur en reconnaît deux : découvrir empiriquement de nouveaux théorèmes et vérifier l'exactitude des théorèmes déduits des axiomes. La géométrie elle-même a d'abord été empirique en Ancienne Égypte avant de se baser sur la déduction en Grèce Antique ; selon Milne, la physique moderne devrait combiner ces deux aspects.

À plusieurs reprises, Helge Kragh a évoqué cette controverse. En particulier, il a souligné la ferme position rationaliste défendue par Milne et son refus de plier face aux attaques de Dingle (Kragh, 1996, p. 70).

5.2. « Physical Science and Philosophy » d'Eddington

Le ton de la réponse de Sir Arthur Eddington (1882-1944), directeur de l'observatoire de Cambridge, est pour le moins intéressant : il dit de l'article de Dingle qu'il est divertissant et avoue son grand plaisir de l'avoir choqué (Eddington, 1937).

Plus sérieusement, Eddington se penche sur la question de l'antériorité des principes généraux. S'il n'est pas possible d'avoir une connaissance *a priori* de l'univers objectif, alors aucun savoir déduit à partir d'une méthode *a priori* ne peut porter sur l'univers objectif. Eddington parvient à montrer que les lois de la nature n'expriment jamais une connaissance de l'univers objectif. Il n'y a pas d'élément objectif dans les lois générales, en particulier pour les systèmes observés.

Kragh souligne la satisfaction d'Eddington et revient brièvement sur son argumentaire (Kragh, 1982, p. 100). Comme beaucoup de choses sont déduites d'arguments *a priori*, il n'y a pas de connaissance de l'univers objectif. George Gale et John Urani ont aussi retenu de cette intervention que les lois de la physique sont subjectives parce qu'elles sont issues d'*a priori* épistémologiques (Gale & Urani, 1999, p. 358).

5.3. Contribution de Dirac

Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984), célèbre physicien et prix Nobel, à son tour, prend part au supplément de *Nature* (Dirac, 1937b). Il peut ainsi répondre aux attaques directes de Dingle. Dirac est d'avis que la science doit être un équilibre entre ce qui est induit à partir des observations et ce qui est déduit d'hypothèses spéculatives. La science se fait par ces deux approches et la lettre de février 1937 impliquait ces deux vues.

En effet, Dirac a basé son travail sur des constantes astronomiques et atomiques fournies par les observations. Il a ensuite construit, à partir de ces constantes, les nombres purs les plus simples. Dirac est interpelé par le caractère peu aléatoire des nombres ainsi construits qui semblent être regroupés. Les valeurs 10^{39} et 10^{78} en tant que telles ne sont pas importantes. Ce qui doit être expliqué c'est la redondance des lois de puissance entre elles. Ce fait a mené Dirac à proposer une hypothèse selon laquelle le regroupement des nombres purs est un phénomène naturel fondamental, conservé au cours du temps. Cette hypothèse a des conséquences telles que les nombres de l'ordre de 10^{39} doivent croître.

Dirac mentionne aussi la publication de Subrahmanyan Chandrasekhar. Avec les coïncidences mises en avant par celui-ci, il est possible d'exprimer les masses stellaires et galactiques moyennes comme étant proportionnelles à 10^{39}. Donc, il devient facile de calculer les différents taux d'accroissement des masses stellaires et galactiques au cours du temps.

Dans sa biographie de Dirac, Kragh évoque le supplément de *Nature*. Selon lui, la réponse de Dirac est une expression assez claire de sa façon d'éviter les débats : Dirac reconnaît l'importance des deux méthodes, inductive et déductive, en plaidant pour un équilibre entre elles (Kragh, 1990). Cependant, Dirac refuse de prendre part à la discussion philosophique.

5.4. Contribution de McCrea

William McCrea (1904-1999), directeur du département de mathématique de l'université *Queen's* de Belfast, réagit lui aussi à la controverse. Selon lui, le discours de Dingle contre l'aristotélisme est typiquement aristotélicien. Galilée aurait vu que ceux que Dingle accuse d'aristotélisme ne peuvent déduire des propriétés du monde qu'avec un esprit humain qui interprète les expériences sensibles. Un galiléen se concentrerait sur le lien entre les mondes de la physique et de l'humain. De plus, Dingle utilise la citation de Galilée : « La nature ne se soucie pas de savoir si ses raisons et méthodes de fonctionnement abstruses sont ou non exposées au pouvoir des hommes » (Dingle 1937a) ; ce qui constitue un parfait exemple d'idée *a priori* sur la nature qui ne repose sur aucune preuve observationnelle. Ce qui, alors, voudrait dire que Galilée serait aristotélicien au sens de Dingle.

Dans l'idée développée par McCrea, Dingle questionne le lien entre la physique mathématique et la physique expérimentale, jugeant la première « nouvelle et perverse ». Alors que la physique mathématique est une conséquence mathématique des hypothèses. Une telle physique est jugée sur la simplicité et le nombre de ses hypothèses ainsi que sur l'observation de ses prédictions. Dans ce contexte, le terme d'hypothèse doit être compris dans son acception mathématique, il n'est pas requis qu'elle soit vraie, mais elle doit être cohérente. La physique mathématique progresse en augmentant le nombre de ses hypothèses et en observant ses prédictions. Par ailleurs, les scientifiques doivent être motivés non par l'opportunité de railler l'hypothèse de leurs collègues, mais en testant leur succès.

Pour conclure, McCrea prend la précaution rhétorique de s'assimiler aux fous d'un célèbre proverbe anglais : « Les fous se précipitent là où les anges ont

peur de marcher ». Ce qui peut être interprété comme une reconnaissance de son ignorance dans ce débat. Ou alors, cela doit peut-être être compris comme un avertissement pour les insensés qui voudraient prendre part à la discussion.

Gale et Urani, dans leur étude de ce débat, soulignent la qualité de l'argument *ad hominem* développé par McCrea, renvoyant Dingle du côté de l'aristotélisme (Gale & Urani, 1999, p. 361).

5.5. Contribution de Haldane

John Haldane (1892-1964), généticien britannique, prend lui aussi le parti de Milne. Il parle au nom des biologistes et des géologues pour qui la *kinematics relativity* de Milne pourrait avoir d'importantes répercussions. Il admet que si Milne travaillait sans recours à l'expérience, Dingle pourrait le qualifier de traître à la science. Mais le principe cosmologique tel que Milne l'utilise n'est pas un principe détaché de l'expérience. En effet, c'est un moyen d'exprimer que nous ne sommes pas des observateurs privilégiés de l'univers. Et cela découle, entre autres, du fait que notre Soleil n'est pas une étoile particulière.

À propos de la citation d'Eddington au sujet d'un système de pensée qui devrait être capable d'obtenir toute la connaissance du monde physique, Haldane révèle qu'un tel système ne pourrait pas être construit sans recours à l'expérience sensible.

L'article de Dingle du mois de mai n'empêchera pas les géologues et les biologistes de travailler avec les deux coordonnées temporelles introduites par Milne. La conclusion d'Haldane est parfaitement claire : « Si les résultats servent à éclairer l'histoire géologique et organique de l'évolution, on devrait être trop occupés pour trouver du temps pour le (Milne) blâmer pour le récit indûment trop idéaliste de leurs origines » (Haldane, 1937, p. 1004).

Gale et Urani interprètent l'enthousiasme d'Haldane pour l'argument de Milne à la lumière des écarts entre l'estimation de l'âge de la Terre pour la géologie et l'âge du monde pour la physique. La double échelle temporelle proposée par Milne pourrait s'avérer efficace dans ce contexte (Gale & Urani, 1999, p. 360).

5.6. Contribution de Jeffreys

Alors que son livre *Scientific Inference* en est à sa deuxième édition, Sir Harold Jeffreys (1891-1989), statisticien et géophysicien attaché au St John's

College de Cambridge, se joint au débat. Jeffreys est complètement d'accord avec le point de vue de Dingle. Avec son bagage de statisticien, Jeffreys a proposé un ensemble de postulats qui vont permettre à tous les types d'observations d'être assimilés dans une théorie, sans devoir supposer que différents principes d'apprentissage soient requis dans des sujets différents.

Ce système de postulats est satisfaisant parce que : 1) Il ne traite aucune hypothèse comme sûre *a priori* ; 2) il fournit des méthodes pour choisir entre des hypothèses par le biais des observations ; 3) il estime les paramètres impliqués dans les hypothèses, cohérents avec les observations ; 4) il admet que toutes les décisions peuvent être mauvaises, mais sont prises avec un certain degré de confiance ; 5) il est prêt à corriger ces mauvaises décisions, puisque la science progresse par des approximations successives.

Dans l'approche de Jeffreys, le problème actuel en science vient de la croyance en une vertu spécifique des mathématiques. Les physiciens oublient que les mathématiques ne sont qu'un outil. Les mathématiques se contentent de connecter postulats et observations. La déduction est utile pour investiguer les conséquences d'une loi admise, tant qu'elle est une approximation de l'induction.

Dans leur analyse du débat, George Gale et Niall Shanks remarquent que Jeffreys soutient Dingle pour des raisons inductivistes, anti-mathématiques (Gale & Shanks, 1996). On peut voir que l'argumentaire déployé par Jeffreys porte davantage sur le rôle des mathématiques que sur le fondement épistémologique de la controverse.

5.7. Contribution de Campbell

Norman Campbell (1880-1949), philosophe des sciences, appuie son intervention sur la définition de la science donnée par W. H. George, auteur de *The scientist in action*, « la science est l'activité des scientifiques ». Ainsi, il ne peut pas y avoir d'hérésie en science, seulement de l'orthodoxie. Si certaines spéculations peuvent être perçues comme fantastiques ou métaphysiques, la question n'est pas de savoir si elles sont déloyales vis-à-vis de la tradition scientifique du XVIIe siècle, mais pourquoi ces nouveaux intérêts sont apparus si soudainement.

Selon Campbell, le nouveau développement aurait pu être prédit. En effet, la physique est construite par deux activités complémentaires menées par des profils différents. D'une part, les expérimentateurs qui ne développent pas

de théorie, d'autre part, les théoriciens qui ne font pas d'expériences. Pendant longtemps, les physiciens étaient, tour à tour, l'un et l'autre, mais récemment, ils se sont spécialisés.

Les expérimentateurs travaillent avec l'induction, ils trouvent des lois démontrables qui expliquent les expériences. Ils construisent la connaissance par accrétion. Alors que les théoriciens construisent des théories pour expliquer des lois. Hélas l'interprétation du mot « expliquer » est variable. Pour l'instant, le procédé théorique est subdivisé en trois étapes. Le théoricien doit formuler des hypothèses, en déduire les conséquences et traduire ses conclusions en propositions. La particularité des explications scientifiques est que, non seulement elles expliquent les anciennes lois, mais elles en prédisent de nouvelles.

Jusqu'au début du XXe siècle, la physique fonctionnait par analogies et avec des théories mécaniques. Campbell fait remarquer que la méthodologie a changé et que les hypothèses sont désormais exprimées dans un langage plus mathématique. En cela, Dirac est en directe continuité avec le développement historique des sciences et les critiques de Dingle n'ont pas lieu d'être.

Gale et Urani commentent la réponse à la fois logique et historique de Campbell (Gale & Urani, 1999, p. 360). Son argumentation indique avec succès que l'émergence de la déduction en science est compréhensible et ne constitue pas une rupture.

5.8. Contribution de Filon

Sans être entièrement d'accord avec la position de Dingle, Louis Filon, professeur au University College de Londres, accueille favorablement sa protestation contre la tendance à travailler, en physique, à partir de théories mathématiques abstraites. Les faits et les observations mènent à des lois particulières, pas à pas, en utilisant l'induction. Ceux qui tentent de résoudre le problème complet de la nature grâce à des déductions mathématiques n'expliquent pas la nature, ils explorent juste l'esprit humain. Selon Filon, il est temps de revenir aux méthodes plus sûres du XIXe siècle.

Comme le font remarquer Gale et Shanks, tous les mathématiciens ne défendent pas la méthode de Milne, Eddington et Dirac (Gale & Shanks, 1996, p. 290). Filon soutient Dingle contre ceux qui pensent possible de résoudre le problème de la nature à l'aide de l'unique intuition mathématique.

5.9. Contribution de Peddie

Le physicien écossais William Peddie (1861-1946) intervient dans le débat de manière brève et absconse. Il voit dans la contribution de Dingle l'idée qu'il pourrait être temps de changer l'angle d'attaque (métaphysique) des problèmes physiques. Au lieu de blâmer les lois de la pensée pour la structure de l'univers, on peut en vouloir à l'univers pour les lois de la pensée. On peut alors s'échapper de l'aristotélisme et retourner aux côtés de Galilée et de Newton.

Comme en rendent compte Gale et Urani, l'objectif de Peddie est de remettre la physique sur ses fondements empiriques (Gale & Urani, 1999, p. 364).

5.10. Contribution de Sampson

L'astronome Ralph Allan Sampson (1866-1939) intervient aussi dans le débat. Sa position se construit sur un simple constat : nous, humains, sommes limités. Nos sens sont limités et ils sont notre unique porte ouverte sur le monde. Notre temps est lui aussi limité. Dès lors, Sampson n'est pas aristotélicien et personne ne l'est, car il est impossible de l'être.

Même ceux qui se disent aristotéliciens ne le sont pas : puisque les humains sont limités, il leur est impossible de faire des déclarations absolues. De plus, si les théories sont écrites dans le langage mathématique, elles ne peuvent pas parler du temps, car les mathématiques ne sont pas outillées pour exprimer le temps. En sciences, on doit se satisfaire de théories qui n'expriment que l'essentiel de ce qu'on souhaite exprimer. Chaque postulat est extrapolé de l'expérience, elle-même partiellement correcte.

5.11. Contribution de Darwin

À son tour, Charles Galton Darwin (1887-1962), mathématicien attaché à Cambridge et petit-fils de son célèbre homonyme, a rejoint la discussion. D'après lui, ce qui est important dans l'article de Dingle du mois de mai, ce n'est pas la critique envers l'aristotélisme, mais la résurgence et la persistance du questionnement sur l'étrange relation entre métaphysique et science.

D'un côté les philosophes développent la métaphysique qui sous-tend toutes connaissances possibles et donc, en particulier, les savoirs scientifiques. Si les métaphysiciens nous disent ce qu'il est permis de penser, peut-être clôtureront-ils la controverse. D'autre part, les scientifiques ont leur propre philosophie, tout en étant rarement formés à philosopher. Ce qui ne les empêche pas

de défendre leur position avec enthousiasme et ferveur. Cependant, les positions philosophiques des hommes de sciences sont diverses.

Darwin rappelle que Dingle et Milne passeront bien à la postérité, mais pour leurs travaux scientifiques et non leur position métaphysique. Leur philosophie des sciences pourrait être entièrement dévoilée par un philosophe expert qui pratiquerait une maïeutique socratique. En faisant ainsi, il exposerait les inconsistances et l'impossibilité de leur système.

Revenant à la problématique qui nous occupe, Darwin ne choisit pas de camp. La position de Dingle en faveur de l'induction et contre la déduction est cependant, note-t-il, difficile à tenir. Si Dingle critique la prédiction de Dirac quant à l'âge du monde à partir de coïncidences numériques, quelle serait sa réaction face à l'intuition de Maxwell selon laquelle la relation entre les champs électrique et magnétique se doit d'être la vitesse de la lumière. Quant aux antagonistes de Dingle, ceux qui défendent que la nature et ses lois sont incluses dans notre esprit, ils n'apportent pas de postulat très important. Ce n'est pas parce qu'on a toutes les règles des échecs à l'esprit que l'on gagne constamment.

Helge Kragh fait part du choix de Darwin de ne pas prendre parti (Kragh, 1982, p. 101). S'il n'est pas un partisan de l'approche de Dirac, il ne fait néanmoins aucune attaque à l'encontre de la position de Dingle.

5.12. Contribution de Whitrow

Le jeune Gerald Whitrow (1912-2000), étudiant en doctorat à Oxford, est très certainement intervenu dans le débat pour défendre son mentor Milne, mais il développe un argumentaire fort intéressant. En lisant Dingle, Whitrow y voit une attaque de la méthode d'investigation mathématique en relativité générale et en cosmologie, ainsi qu'un refus d'admettre que c'est un sujet intéressant, bien que fondé à la fois sur l'expérimentation et sur le raisonnement.

Dingle semble avoir un point de vue erroné, une interprétation mystique de ce qu'est réellement l'histoire de la méthode scientifique. Whitrow imagine l'empiriste Dingle à l'époque de Copernic. Le modèle copernicien ne lui semblerait alors qu'une pseudo-science, une « cosmo-mythologie ». Dingle aurait certainement préféré le modèle de Ptolémée basé sur l'induction. Dingle semble oublier que la force de Kepler résidait dans sa croyance en l'harmonie mathématique de la nature. Galilée lui-même usait des mathématiques comme d'un outil d'investigation scientifique et n'évoquait les expériences que pour répondre à ses détracteurs. D'ailleurs, la citation de Galilée utilisée par Dingle

n'a été écrite que contre la téléologie scolastique. Pour Galilée, la nature est compréhensible pour l'homme via son esprit.

Depuis Copernic, ce qu'on appelle science moderne repose sur trois prémisses méthodologiques. Tout d'abord, il est supposé que la nature soit uniforme et simple. Ensuite, les scientifiques croient en la possible description de la nature à l'aide des mathématiques. Enfin, on refuse l'anthropocentrisme. Milne, dont Dingle attaque le principe cosmologique, s'inscrit dans la lignée directe de la science de la Renaissance et de la science moderne.

Gale et Urani font remarquer l'excellent argument méthodologique mis en place par Whitrow (Gale & Urani, 1999, p. 362). En effet, l'interprétation idéalisée, mystique, de l'histoire des sciences défendue par Dingle peut souffrir quelques reproches. Whitrow démontre aussi comment, selon lui, Dingle n'a pas compris Galilée.

5.13. Contribution de McEntegart

William McEntegart (1891-1979) *s.j.*, enseignant, entre autres, la cosmologie thomiste au Heythrop College dans l'Oxfordshire, souligne une incompréhension philosophique. Il se demande pourquoi Herbert Dingle a choisi Aristote pour représenter les physiciens de la déduction. Ils auraient pu être appelés kantiens, hégéliens ou fichtéens, mais pas aristotéliciens. En effet, dans cette problématique, Aristote aurait soutenu Dingle. Le besoin d'un fondement philosophique, métaphysique, épistémologique, de toute rationalisation des observations doit, cependant, être reconnu.

D'après Gale et Urani, McEntegart ne prend pas position dans le débat et ne fait que corriger l'usage incorrect du terme aristotélicien (Gale & Urani, 1999, p. 358). Cependant, conclure sa contribution en disant qu'Aristote aurait soutenu la position de Dingle est plutôt ironique.

5.14. Contribution de Stafford Hatfield

Henry Stafford Hatfield (1880-1966), auteur de *The Inventor and his world*, apporte un argument peu conventionnel, Dingle a négligé un important facteur de progrès en science : l'attrait pour les esprits géniaux. Les génies préfèrent se concentrer sur des domaines qui permettent une grande latitude pour l'imagination et la créativité. La plupart des plus grands esprits combinent l'approche de rigueur factuelle et de raisonnement avec des spéculations pleines d'imagination. En se contentant d'être galiléen, comme Dingle le définit, on recrutera bien moins de génies.

Gale et Urani remarquent le point de vue très pragmatique développé par Hatfield (Gale & Urani, 1999, p. 359). Même si sa remarque est valide, elle n'est pas de grande importance dans le débat opposant l'induction à la déduction.

5.15. Contribution de Dawes Hicks

Selon Georges Dawes Hicks (1862-1941), professeur émérite de philosophie, le point fort de l'argumentation de Dingle, ce sont ses arguments justifiant la protestation qu'il oppose à la façon dont certains décrivent le monde physique. Mais Dingle fait porter le chapeau aux mauvaises choses, il tord la signification des mots tels que galiléen et aristotélicien.

Aristote n'est pas un parangon du raisonnement à partir de principes généraux. Que du contraire, Aristote a travaillé *in abstracto* à partir des expériences, au travers de ce que le monde pouvait fournir en perceptions sensibles. Aristote ne remet pas en question la validité des données sensibles. En cristallisant une prétendue opposition entre les approches scientifiques de Galilée et d'Aristote, Dingle échoue à décrire correctement ce qu'il reproche à la physique moderne.

5.16. « Deductive and inductive methods in science: a reply » de Dingle

Afin de clore le débat prenant place dans les pages de la revue *Nature*, Herbert Dingle a la possibilité de répondre à toutes les réactions détaillées ci-devant (Dingle, 1937b). Premièrement, il tient à clarifier l'idée que sa publication ne se voulait pas une attaque et il affirme son plus grand respect pour Edward Milne. Ensuite, il rappelle qu'à la première occurrence du mot aristotélicien dans son texte, celui-ci avait été placé entre guillemets. L'objectif étant de caractériser ceux que Newton et Galilée appelaient des aristotéliciens et non pas les véritables disciples d'Aristote.

De plus, Dingle souhaite faire une distinction entre ce que William McCrea appelle hypothèse mathématique, qui peut être assimilée à un axiome, et ce qu'était une hypothèse mathématique du temps de Newton, quand les mathématiques étaient moins développées. Il est important de préciser quel sens d'hypothèse mathématique s'applique au principe cosmologique. Dingle définit la science comme la découverte des vérités de la nature. Toute la question est donc « Peut-on découvrir la vérité sur la nature rationnellement, c'est-à-dire sans aucun recours à l'expérience ? ». Dans un cadre ainsi posé, le conflit entre l'induction et la déduction est, selon Dingle, gagné par l'induction.

À propos de la réaction d'Arthur Eddington, Dingle se réjouit de leur accord sur l'impossibilité d'un quelconque savoir *a priori* à propos de l'univers objectif. Mais, Dingle n'est pas certain qu'Eddington applique cette idée dans son travail, et Dingle craint qu'il n'y ait une incompréhension non dans le fait d'Eddington, mais pour ses lecteurs assidus.

Dans l'approche défendue par Dingle, il semble que Milne ne s'intéresse pas à la science, il souhaite juste construire une théorie. En réponse à Gerald Whitrow, Dingle souligne la confusion existante entre inexactitude, conflit avec les faits, et irrationalité, conflit avec la raison. Il est également à noter que Dingle ne fait aucune mention des quatre auteurs à se ranger de son côté (Jeffreys, Filon, Peddie et Hicks), un tiers des intervenants extérieurs.

Pour ce qui est de l'argumentaire de Charles G. Darwin, que Dingle résume comme « peu importe ce que l'on pense de la science tant qu'on la fait avancer », Dingle propose une rapide analogie : peu importe ce que l'on brûle pourvu que le feu soit bon. Ce dernier point montre, s'il le fallait encore, que le supplément édité par *Nature* n'est en fait qu'un dialogue de sourds.

6. Variation des constantes et création de matière après 1937

En décembre 1937, Paul Dirac soumet pour publication un développement cosmologique de son hypothèse des grands nombres sans aucune référence au débat ici détaillé (Dirac, 1938). Cet article propose un modèle d'univers constitué d'un feuilletage d'hypersurfaces planes et d'un espace infini. Cette théorie requiert un procédé de création de matière. Un tel processus prend difficilement place dans la théorie physique. Puisque, en cette fin des années 1930, il y a d'autres modèles cosmologiques cohérents, il ne vaut pas la peine, selon Dirac, d'étudier plus en détail ce modèle particulier. Cependant, pendant les années 1970, Dirac reviendra aux conséquences cosmologiques de son hypothèse des grands nombres dans plusieurs travaux (Dirac, 1974 & 1979).

Dirac a inspiré d'autres modèles cosmologiques faisant intervenir la variation de G et un processus de création de matière. Pascual Jordan a construit, dès 1937, une cosmologie basée sur la motivation d'Eddington d'expliquer la valeur des constantes et l'idée de Dirac de la variation de G. La version la plus aboutie de ce modèle est publiée en 1939 (Jordan, 1939)[6]. Jordan propose un univers dans lequel la matière est créée sous la forme d'apparition spontanée

6. L'auteur a récemment publié une traduction commentée de cet article (Dubois & Füzfa, 2020).

d'étoile. Ce qu'il motive par l'observation d'étoiles jeunes et vieilles. De plus, il étudie les possibles conséquences géophysiques de la variation de la constante de gravitation.

Un modèle plus célèbre de cosmologie faisant appel à la création de matière est la *Steady State Theory* présentée parallèlement par Bondi et Gold (1948) et Hoyle (1948). Fred Hoyle apporte une plus grande mathématisation de ce modèle et le soutiendra jusqu'à la fin de sa vie en 2001. Dans cette cosmologie de la matière est créée sous la forme d'atome d'hydrogène tout d'abord et puis, au fur et à mesure des avancées de la physique subatomique, sous la forme de particules de plus en plus petites.

Quant à la question de l'étude des constantes, celle-ci reste toujours d'actualité, comme en attestent les ouvrages relativement récents de Jean-Philippe Uzan et Roland Lehoucq (2005) d'une part, ou celui de John Barrow (2005) d'autre part. Uzan a travaillé notamment à augmenter la précision de la mesure de la valeur de *G*. Une telle étude pourrait un jour apporter la preuve expérimentale de la variation de cette constante. Une revue des contraintes expérimentales sur les valeurs des constantes et des différentes idées sur leur variation peut être retrouvée dans l'article d'Uzan (2011).

7. Conclusion

Puisque la définition de la science est sujette à discussion et que les approches déductive et inductive présentent toutes deux des avantages et des inconvénients, des partisans et des opposants, ce débat ne sera jamais clos (Kragh, 2004, p. 189). Cependant, la lettre de Dirac a eu le mérite de réactualiser la controverse et de permettre aux scientifiques d'alors d'y réfléchir et de prendre position.

Il semblait important à l'auteur de présenter cette controverse dans sa globalité. En exposant ses antécédents et en explicitant ces interventions, cet article s'inscrit dans la lignée de la littérature secondaire qu'il cite. Cependant, c'est un souci de complétude qui a motivé cette publication. La controverse est méconnue, ses commentaires ont plus de quinze ans et sont perdus dans des ouvrages divers et ayant un sujet plus large.

Cet article a non seulement pour but d'effectuer un travail de revue, mais aussi de donner à penser à ses lecteurs : aussi bien sur le débat de 1937 que sur celui qui pourrait avoir lieu aujourd'hui en cosmologie, ou en d'autres champs scientifiques. En effet, pour ce qui est de la cosmologie, cette science a beau

avoir acquis un aspect expérimental qu'elle n'avait pas à l'époque et se reposer sur plus d'observations qu'alors, elle reste toujours le fruit d'une profonde mathématisation. Par ailleurs, la scission entre théoriciens et expérimentateurs va toujours en s'agrandissant. L'espoir que porte cette publication est de les faire s'interroger sur les approches scientifiques déductive et inductive afin qu'ils puissent, peut-être, prendre position.

De plus, les quelques récits de l'histoire de la cosmologie portent le plus souvent sur le développent du paradigme actuel : sur la façon dont l'idée de l'atome primitif est devenue le modèle du *Big Bang* chaud. Cette contribution a l'ambition d'explorer les tortueux chemins que les cosmologistes peuvent emprunter. Les grands esprits, comme Dirac ou Chandrasekhar, n'ont aucun souci à suivre leur intuition même si celle-ci les mène à l'idée de création de matière. Sans aucune donnée expérimentale, il était justifié d'investiguer tous les modèles cosmologiques possibles. Il serait bon de se demander si un tel foisonnement d'idées est encore possible aujourd'hui.

Enfin, l'auteur regrette non seulement la séparation, même si elle est poreuse, entre théoriciens et expérimentateurs, mais aussi le mur qui s'est construit entre les différentes disciplines, comme la philosophie et la physique. Le débat de 1937 est, sans aucun doute, un débat épistémologique, néanmoins la grande majorité des intervenants est issue de ce qu'on appelle couramment les sciences dures. La richesse de ce débat soutient l'idée que de plus nombreux ponts devraient être construits entre les disciplines académiques usuellement séparées.

Remerciement

L'auteur souhaite vivement remercier ses directeurs de thèse A. Füzfa et D. Lambert pour leurs idées, leurs conseils et leur soutien.

Bibliographie

Barrow, J. (2005). *Les constantes de la nature*. Odile Jacob.

Bondi, H., & Gold, T. (1948). Variation des constantes et création de matière après 1937. *MNRAS*, 108, 252-270.

Campbell, N. (1937). Physical science and philosophy. *Nature*, 139, 1005-1006.

Chandrasekhar, S. (1937). The Cosmological constants. *Nature*, 139, 757-758.

Darwin, C. (1937). Physical science and philosophy. *Nature*, 139, 1007-1008.

Dawes Hicks, G. (1937). Physical science and philosophy. *Nature*, 139, 1009-1010.

de Sitter, W. (1917). One the relativity of inertia. Remarks concerning Einstein's latest hypothesis. *Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences (KNAW) proceedings*, 19, 1214-1225.

Dingle, H. (1937a). Modern Aristotelianism. *Nature*, 139, 757-758.
Dingle, H. (1937b). Deductive and inductive methods in science: a reply. *Nature*, 139, 1011-1012.
Dirac, P. (1937a). The Cosmological constants. *Nature*, 139, 323.
Dirac, P. (1937b). Physical science and philosophy. *Nature*, 139, 1001-1002.
Dirac, P. (1938). A New basis for cosmology. *Proceedings of the Royal Astronomical Society of London*, 165, 199-208.
Dirac, P. (1974). Cosmological models and the Large Numbers hypothesis. *Proceedings of the Royal Society*, 338, 439-446.
Dirac, P. (1979). The Large Numbers hypothesis and the Einstein theory of gravitation. *Proceedings of the Royal Society*, 365, 19-30.
Dubois, E.-A., & Füzfa, A. (2020). Comments on P. Jordan's Cosmological Model. *Universe*, 6, 82-94.
Eddington, A. (1929). The Charge of an electron. *Proceedings of the Royal Society*, 122, 358-369.
Eddington, A. (1930). The Interaction of electric charges. *Proceedings of the Royal Society*, 126, 696-728.
Eddington, A. (1937). Physical science and philosophy. *Nature*, 139, 1000-1001.
Editorial Committee (1937a). Points from foregoing letters (Dirac). *Nature*, 139, 332.
Editorial Committee (1937b). Points from foregoing letters (Chandrasekhar). *Nature*, 139, 762.
Einstein, A. (1917). Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie. *Preussiche Akademie der Wissenschaften Sitzungsberichte*, 142-152.
Filon, L. (1937). Physical science and philosophy. *Nature*, 139, 1006.
Gale, G., & Shanks, N. (1996). Methodology and the birth of modern cosmological inquiry. *Studies in history of philosophy of science*, 27, 279-296.
Gale, G., & Urani, J. (1999). Milne, Bondi, and the second way to cosmology. Dans Goenner, H., Renn, J., Ritter, J., & Sauer, T. (Eds.) *The expanding worlds of general relativity*. Springer.
Haldane, J. (1937). Physical science and philosophy. *Nature*, 139, 1003-1004.
Hoyle, F. (1948). A new model for the expanding universe. *MNRAS*, 108, 372-382.
Hubble, E. (1929). A Relation between distance and radial velocity among extra galactic nebulae. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 15, 168-173.
Jeffreys, H. (1931). *Scientific Inference.* MacMillan publishers.
Jeffreys, H. (1937). Physical science and philosophy. *Nature*, 139, 1004-1005.
Jordan, P. (1939). Bemerkungen zur Kosmologie. *Annalen der Physik*, 5, 64-70.
Kragh, H. (1982). Cosmo-physics in the thirties: towards a history of Dirac cosmology. *Historical Studies in the physical sciences*, 13, 69-108.
Kragh, H. (1990). *Dirac a scientific biography*. Cambridge University Press.
Kragh, H. (1996). *Cosmology and controversy*. Princeton University Press.
Kragh, H. (2004). *Matter and spirit in the universe*. Imperial College Press.

Lemaître, G. (1927). Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques. *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, 47, 49-59.

Lemaître, G. (1931). The expanding universe. *MNRAS*, 91, 490-501.

McCrea, W. (1937). Physical science and philosophy. *Nature*, 139, 1002-1003.

McEntegart, F. (1937). Physical science and philosophy. *Nature*, 139, 1009.

Milne, E. (1934). A Newtonian expanding universe. *Quaterly Journal of Mathematics*, 5, 64-72.

Milne, E. (1937a). Kinematics, dynamics and the scale of time. *Proceedings of the Royal Society*, 158, 324-348.

Milne, E. (1937b). On the origin of laws of nature. *Nature*, 139, 997-999.

Nature, Supplement to (1931). The Evolution of the Universe. *Nature*, 128, 699-722.

Peddie, W. (1937). Physical science and philosophy. *Nature*, 139, 1006.

Robertson, H. (1929). One the foundations of relativistic cosmology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 15, 822-829.

Sampson, R. (1937). Physical science and philosophy. *Nature*, 139, 1006-1007.

Shapley, H., & Curtis, H. (1921). The scale of the universe. *Bulletin of the national research council*, 2, 171-217.

Slipher, V. (1913). The radial velocity of the Andromeda nebula. *Lowell Observatory Bulletin*, 1, 56-57.

Sommerfeld, A. (1916). Zur Quantentheorie der Spektrallinien. *Annalen der Physik*, 17, 1-94.

Stafford Hatfield, H. (1937). Physical science and philosophy. *Nature*, 139, 1009.

Temple Bell, E. (1946). *The magic of numbers*. Dover Publications.

Uzan, J.-P., & Lehoucq, R. (2005). *Les constantes fondamentales*. Belin.

Uzan, J.-P. (2011). Varying Constants, Gravitation and Cosmology. *Living reviews in relativity*, 14, 2-155.

Whitrow, G. (1937). Physical science and philosophy. *Nature*, 139, 1008-1009.

Revue des Questions Scientifiques, 2021, 192 (1-2) : 93-115

À propos du lien entre la théorie quantique et les probabilités

Louis Marchildon
Département de chimie, biochimie et physique
Université du Québec à Trois-Rivières
louis.marchildon@uqtr.ca

Résumé. – La théorie des probabilités et la théorie quantique, l'une mathématique et l'autre physique, s'apparentent dans la mesure où chacune admet plusieurs interprétations fort différentes. Certains ont proposé que les problèmes conceptuels de la théorie quantique puissent être, sinon résolus, du moins atténués par une interprétation adéquate des probabilités. Nous montrerons plutôt, à travers un survol historique et analytique des probabilités et de la théorie quantique, que si certaines interprétations de l'une et de l'autre s'agencent particulièrement bien, aucune ne s'impose de façon unique.

Abstract. – The theory of probability and the quantum theory, the one mathematical and the other physical, are related in that each admits a number of very different interpretations. It has been proposed that the conceptual problems of the quantum theory could be, if not resolved, at least mitigated by a proper interpretation of probabilities. We rather show, through a historical and analytical overview of probabilities and quantum theory, that if some interpretations of the one and the other go along particularly well, none follows in a unique way.

Mots-clés. – Déterminisme — Indéterminisme — Interprétation — Probabilités — Théorie quantique

Plan de l'article

1. Introduction

2. L'interprétation des probabilités
- **2.1. L'interprétation classique**
- **2.2. L'interprétation fréquentiste**
- **2.3. La propension**
- **2.4. L'interprétation logique**
- **2.5. L'interprétation subjective**

3. Règle de Born et mesure
4. Interprétations indéterministes de la théorie quantique
4.1. L'effondrement du vecteur d'état
4.2. L'interprétation de Copenhague
4.3. L'observateur
5. Interprétations déterministes de la théorie quantique
5.1. La théorie de Bohm et de Broglie
5.2. Les mondes multiples
6. Conclusion

1. Introduction

La popularité des jeux de hasard remonte à l'Antiquité, comme en témoignent des os et des pièces d'ivoire trouvés par des archéologues et manifestement utilisés dans ce but[1]. Bien qu'il apporte au parieur un avantage indiscutable, le calcul des probabilités ne s'est pourtant développé que beaucoup plus tard. À l'époque de la Renaissance, on entendait encore par opinion *probable* non pas celle qui est soutenue par des indices, mais plutôt celle qui vient d'une autorité reconnue.

Le concept de probabilité que nous connaissons s'est cristallisé à quelques endroits en Europe autour de 1660, en particulier à travers la correspondance échangée entre Blaise Pascal et Pierre de Fermat. Hacking (2006) remarque que dès ses débuts, la probabilité s'est associée à deux notions distinctes : l'une, subjective, consistant en une croyance et l'autre, objective, se rapportant à des processus aléatoires démontrant à long terme des fréquences relatives stables.

Au-delà des jeux de hasard, la théorie des probabilités a rapidement trouvé des applications dans le calcul de primes d'assurances et d'intérêts de rentes viagères. En physique, cependant, et malgré les apports majeurs de Pierre Simon de Laplace, la théorie des probabilités ne devient véritablement importante qu'au milieu du XIXe siècle, avec l'essor de la physique statistique.

Élaborée dans la seconde moitié du XIXe siècle par James Clerk Maxwell, Ludwig Boltzmann et Josiah Willard Gibbs, la physique statistique vise à expliquer les propriétés thermodynamiques d'un gaz (par exemple) à partir de la théorie atomique et moléculaire. La théorie suppose que le gaz est constitué d'une immense quantité de molécules (typiquement, 10^{25}) qui se déplacent et s'entrechoquent selon les lois déterministes de la mécanique newtonienne.

1. Hacking (1990, 2006) et Galavotti (2005) rappellent les épisodes marquants de l'histoire des probabilités.

Étant donné, toutefois, qu'il est impossible de résoudre les équations du mouvement de toutes ces molécules, on doit recourir à des approximations. Celles-ci consistent à associer aux paramètres thermodynamiques (par exemple la température, la pression, l'énergie et l'entropie) des moyennes de paramètres microscopiques calculées sous l'hypothèse d'une modélisation statistique de ceux-ci. Plusieurs traits de la modélisation (par exemple, la conservation de l'énergie d'un système isolé) se justifient objectivement. Il reste que l'introduction des probabilités n'est, dans ce cas, qu'un pis-aller, lié à une méconnaissance des conditions exactes des molécules. Paradoxalement, ce compromis permet néanmoins de prédire les valeurs de certaines grandeurs macroscopiques avec une précision souvent étonnante.

Hacking (1990) remarque que le concept de hasard (*chance*), associé à un processus purement aléatoire irréductible à des lois déterministes, ne prend véritablement son envol qu'à la fin du XIXe siècle, chez Charles Sanders Peirce en particulier. En physique, il va d'abord se révéler à travers le phénomène de la radioactivité.

Découverte en 1896 par Henri Becquerel, la radioactivité a rapidement été étudiée par Marie et Pierre Curie et par Ernest Rutherford. Celui-ci nota que ce qu'il appelait « émanation du thorium » (notre radon 220) présente une radioactivité exponentiellement décroissante (Rutherford, 1900). Spécifiquement, s'il y a N_0 atomes actifs à l'instant $t = 0$, alors le nombre d'atomes actifs à l'instant $t > 0$ est donné par

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t) \tag{1}$$

où λ est une constante positive qui caractérise la substance radioactive. La loi exponentielle implique que la probabilité qu'un atome donné émette le rayonnement ne dépend pas du temps. Comment se fait-il que la probabilité d'émission radioactive ne dépende pas de l'âge de l'atome ? Pourquoi tel atome se désintègre-t-il maintenant, et tel autre bien plus tard ? Voici comment, en rétrospective, James Jeans a résumé la situation :

> « Dans un milligramme de radium 500 millions d'atomes environ se désintègrent par seconde [...] On soulève des questions intéressantes mais difficiles en discutant quels sont les atomes qui se désintègrent les premiers et ceux qui survivent le plus longtemps sans se désintégrer [...] [L]a causalité semblait disparaître d'une grande partie de notre représentation du monde physique [...] Si l'on nous donne la position et la vitesse de chacun [des atomes de radium] à tout moment, on peut attendre du supermathématicien de Laplace qu'il puisse prédire chacune de leurs destinées individuelles. Et il le

> ferait si leur mouvement était conforme à la mécanique classique. Mais les nouvelles lois lui disent simplement qu'un des atomes est destiné à se désintégrer aujourd'hui, un autre demain, etc. Aucune suite de calculs ne lui désignera les atomes qui se désintégreront. » (Jeans, 1943, pp. 164-166).

Bien que la question se soit posée très tôt, la plupart des chercheurs n'ont pas néanmoins immédiatement conclu à la nécessité d'abandonner le principe de causalité. Pour Rutherford et Marie Curie, par exemple, des processus atomiques complexes, impossibles à préciser alors, pouvaient être à l'origine de l'apparente violation de la causalité[2], de la même façon, peut-être, que le caractère aléatoire du roulement d'un dé vient de la méconnaissance des conditions exactes du lancer. Cette double façon de comprendre la radioactivité se transposera à la théorie quantique, qu'on peut envisager de manière déterministe ou indéterministe.

Le but de cet article est d'explorer et de clarifier le lien entre la théorie quantique et la théorie des probabilités. Nous rappellerons d'abord, à la section 2, différentes façons d'interpréter les probabilités. La section 3 sera consacrée à la règle de Born, clé de l'introduction des probabilités en théorie quantique, ainsi qu'au problème de la mesure, source des différentes interprétations de la théorie. Ces interprétations peuvent être indéterministes ou déterministes. Nous examinerons, aux sections 4 et 5, comment l'interprétation des probabilités peut s'y adapter, avant de conclure de manière plus générale.

2. L'interprétation des probabilités

La distinction entre probabilités objectives et subjectives, déjà présente chez les fondateurs de la théorie, ainsi que la prise de conscience progressive que les phénomènes naturels puissent en principe être nécessaires, contingents ou purement aléatoires, ont conduit à l'élaboration de plusieurs interprétations différentes des probabilités. Mellor (2005) les regroupe sous trois types : (i) la probabilité physique, c'est-à-dire le hasard (par exemple, la probabilité que tel noyau radioactif se désintègre au cours de la prochaine heure) ; (ii) la probabilité épistémique (en physique statistique, entre autres, où elle est liée à la méconnaissance des conditions initiales exactes) ; et (iii) la croyance d'un agent à l'égard d'une situation contingente (qui le conduit, par exemple, à parier à 2 contre 1 sur la victoire de telle équipe sportive). Pour sa part, Galavotti (2005)

2. Voir Pais (1986), p. 123.

propose un autre regroupement s'articulant historiquement en cinq types, qui conviendra bien à notre analyse[3].

2.1. L'interprétation classique

La théorie des probabilités a visé dès ses débuts les jeux de hasard, tel le lancer d'un dé ou d'une pièce de monnaie. Dans la mesure où l'on a fabriqué le dé adéquatement, aucune des six faces n'est privilégiée. Nous affirmons alors que la probabilité d'obtenir un résultat spécifique, disons le trois, est égale à 1/6, puisque le trois est l'un des six résultats possibles. Telle est la conception *classique* de la probabilité, formulée par Laplace dans son *Essai philosophique sur les probabilités* :

> « La théorie des hasards consiste à réduire tous les évènements du même genre, à un certain nombre de cas également possibles, c'est-à-dire, tels que nous soyons également indécis sur leur existence ; et à déterminer le nombre des cas favorables à l'évènement dont on cherche la probabilité. Le rapport de ce nombre à celui de tous les cas possibles, est la mesure de cette probabilité qui n'est ainsi qu'une fraction dont le numérateur est le nombre des cas favorables, et dont le dénominateur est le nombre de tous les cas possibles. » (Laplace, 1814, p. 4).

Ainsi, Laplace considère que deux cas sont également possibles si l'on est également indécis à leur sujet. Pour lui, cette indécision, ou méconnaissance, est la seule justification de l'utilisation des probabilités. Laplace estime en effet que « [t]ous les évènements, ceux mêmes qui par leur petitesse, semblent ne pas tenir aux grandes lois de la nature, en sont une suite aussi nécessaire que les révolutions du soleil » (Laplace, 1814, p. 2). L'univers obéit à un déterminisme rigoureux. Les probabilités se justifient par notre connaissance limitée des lois de la nature et des conditions initiales, elles sont donc *épistémiques.*

L'interprétation classique des probabilités a fait l'objet de plusieurs critiques. Il peut être fort difficile, par exemple, d'énumérer l'ensemble des cas. *A fortiori*, les répartir en cas « également possibles » suppose déjà, de manière circulaire, une notion antérieure de probabilité. Si, par ailleurs, le nombre de cas se trouve infini, la fraction dont parle Laplace est indéterminée. Les interprétations subséquentes vont tenter de répondre à ces critiques.

3. Galavotti (2005) donne de nombreuses références aux travaux des différents chercheurs que nous allons mentionner.

2.2. L'interprétation fréquentiste

Plusieurs noms sont associés à l'interprétation fréquentiste des probabilités, en particulier ceux de Robert Leslie Ellis, John Venn, Richard von Mises, Hans Reichenbach et Ernest Nagel. Pour ces chercheurs, la probabilité d'un type d'évènement se rapporte à sa fréquence relative dans une suite arbitrairement longue et, à la limite, infinie.

Toutes les suites ne donnent pas nécessairement lieu à des probabilités. Pour von Mises, par exemple, la suite doit correspondre à un ensemble spécifique d'évènements, tel le lancer répété d'une pièce de monnaie. Elle doit aussi avoir un caractère aléatoire, concept dont on a naturellement l'intuition, mais qu'il est fort difficile de définir rigoureusement.

Parmi les objections faites à l'interprétation fréquentiste, deux se détachent davantage. La première consiste à observer que pour identifier une probabilité à une fréquence relative, il faut en toute rigueur considérer une suite infinie, ce qui est en pratique impossible. La seconde tient à la difficulté d'associer, en termes de fréquence, une probabilité à un évènement singulier. Une solution consiste à considérer l'évènement comme appartenant à une classe. Pour évaluer, par exemple, la probabilité qu'un individu meure au cours d'une année, on considère la classe des personnes de même âge, de même sexe et de santé comparable. La spécification de telles classes (« santé comparable ») engendre toutefois de nouveaux problèmes.

Plusieurs considèrent ces objections sérieuses et cherchent à définir la probabilité autrement. Cela dit, quelle que soit la manière privilégiée pour définir la probabilité, la vérification d'une hypothèse statistique spécifique ne peut se faire que par l'observation de fréquences relatives.

2.3. La propension

Anticipée par Charles Sanders Peirce, l'interprétation propensionniste des probabilités a véritablement été élaborée par Karl Popper. Celui-ci l'a proposée (i) pour résoudre le problème de l'interprétation de la théorie quantique (Popper, 1959, 1982) et (ii) pour définir la probabilité d'évènements singuliers (Popper, 1959).

Popper amorce son analyse à partir de l'interprétation fréquentiste, qu'il avait auparavant défendue. De ce point de vue, affirmer que la probabilité d'obtenir trois, en lançant un dé, est égale à 1/6 signifie que la fréquence relative du trois dans une suite virtuellement infinie de lancers vaut 1/6. Popper remarque

que la suite n'est pas arbitraire, mais qu'elle correspond à la spécification de conditions expérimentales qui se répètent d'un lancer à l'autre. La probabilité d'obtenir trois dans un lancer particulier s'entend ainsi comme étant liée à ces conditions expérimentales. Popper propose alors

> « *une nouvelle hypothèse physique* (ou peut-être une hypothèse métaphysique) analogue à l'hypothèse des forces newtoniennes. Il s'agit de l'hypothèse que tout dispositif expérimental (et donc tout état d'un système) engendre des propensions physiques qui peuvent être testées par des fréquences. » (Popper, 1959, p. 38).

Bien que non directement observables, les propensions n'en sont pas moins, selon Popper, objectives.

Il est important de remarquer que, même si la propension peut servir à éclairer la notion de probabilité, les deux concepts ne peuvent être identifiés. Considérons deux dés, le premier bien balancé et le second pipé de sorte que la probabilité d'obtenir trois en le lançant vaut 1/4. Il est naturel de quantifier la propension d'obtenir trois en lançant chacun des dés. Par ailleurs, le théorème de Bayes nous dit que si la probabilité *a priori* de lancer chacun des dés est égale, et qu'on obtienne trois, alors la probabilité d'avoir lancé le dé pipé est égale à 3/5 (voir l'encadré). Il serait dans ce cas tout à fait artificiel de parler de la propension d'utiliser le dé pipé. Pour associer la probabilité à une propension, il doit y avoir un lien causal entre les conditions expérimentales et le résultat.

Le théorème de Bayes

Soit A et B deux variables aléatoires et soit a et b des valeurs de ces variables. La *probabilité conditionnelle* $P(a|b)$, c'est-à-dire la probabilité que A ait la valeur a si B a la valeur b, est définie comme $P(a, b) / P(b)$, où $P(a, b)$ est la probabilité que A ait la valeur a et que B ait la valeur b. On définit de même $P(b|a)$ comme $P(b, a) / P(a)$. Étant donné que $P(a, b) = P(b, a)$, on obtient immédiatement

$$P(b|a) = P(a|b)\ P(b)/P(a)$$

C'est le *théorème de Bayes*. Il est particulièrement utile pour évaluer la probabilité d'une hypothèse conditionnellement à une observation.

À titre d'exemple, supposons que A est associée au résultat du lancer et B au choix du dé. Disons que + représente le dé bien balancé et – le dé pipé. Alors

$$P(-|3) = P(3|-)\ P(-)/P(3)$$

Par hypothèse, $P(-) = 1/2 = P(+)$. C'est dire que $P(3) = 5/24$, la moyenne de 1/4 et 1/6. Puisque $P(3|-) = 1/4$, on trouve que $P(-|3) = 3/5$.

2.4. L'interprétation logique

Anticipé par Auguste de Morgan et George Boole, ce point de vue a été élaboré, au XXe siècle, plus particulièrement par John Maynard Keynes et Rudolf Carnap.

L'idée de base de l'interprétation logique consiste à associer la probabilité à un degré de croyance. Contrairement à l'interprétation subjective que nous verrons à la section suivante, il s'agit ici non pas de la croyance d'agents spécifiques, mais plutôt de celle d'un agent rationnel idéal. La probabilité est ainsi une relation logique entre propositions, se rapportant aux arguments qui n'entraînent pas une conclusion univoque.

Le caractère abstrait de l'interprétation logique rend difficile son application directe à des situations réelles. Ceci a conduit Carnap à proposer deux notions distinctes de probabilité. La probabilité$_1$, un concept logique, représente le degré de confirmation apporté par différents indices à une hypothèse donnée. La probabilité$_2$, par contre, se rapporte aux fréquences relatives. Les deux notions sont liées dans la mesure où la première peut servir à une estimation de la seconde.

2.5. L'interprétation subjective

L'identification de la probabilité à un degré de croyance caractérise l'interprétation subjective, élaborée au siècle dernier principalement par Frank Ramsey et Bruno de Finetti. Cette croyance, pour ces chercheurs, n'est d'aucune manière unique ni déterminée par des considérations de rationalité. Deux agents distincts peuvent avoir des degrés de croyance distincts, avec comme seule restriction que les croyances de chacun doivent être cohérentes.

De Finetti propose une définition opérationnelle de la probabilité en termes de paris. Croire qu'un évènement se produira une fois sur quatre, par exemple, signifie que l'agent est disposé à parier un dollar contre trois sur son occurrence. La cohérence consiste à restreindre le type de paris de sorte qu'aucune combinaison ne conduise à une perte certaine.

Bien sûr, l'observation et l'expérience font que les croyances d'un agent peuvent évoluer. Supposons, par exemple, que je pense qu'un dé est bien balancé, et donc que chacun des six résultats possibles lors d'un lancer a la même probabilité. Si j'observe que lors de 100 lancers subséquents, le résultat trois se produit 25 fois, ma croyance initiale sera altérée. La règle de Bayes permet de rafraîchir ma croyance. Ainsi, deux agents dont les croyances initiales diffèrent

peuvent se retrouver avec des croyances plus rapprochées. Néanmoins, cela ne signifie aucunement, selon de Finetti, que les croyances convergent vers une probabilité qui serait objective.

3. Règle de Born et mesure

Le formalisme de la théorie quantique a été développé en 1925-1926 par Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger et Paul Dirac. Dès 1926, Max Born a mis en lumière le caractère probabiliste de la théorie.

Le formalisme de la théorie peut s'interpréter de plusieurs manières. Nous verrons qu'à chaque interprétation de la théorie s'adapte de manière naturelle une interprétation des probabilités.

Dans cette section, nous ferons ressortir quelques éléments de la théorie quantique qui ne dépendent pas de l'interprétation qu'on en fait. Telle est, entre autres, la règle de Born, postulat statistique qui introduit la probabilité de manière purement opérationnelle.

On désigne sous le nom de *système quantique* n'importe quel système physique adéquatement décrit par la théorie quantique. Plusieurs estiment que la théorie quantique a une portée universelle, et donc que tous les systèmes physiques sont des systèmes quantiques. Il n'est pas nécessaire pour l'instant de prendre position à ce sujet. Tous s'entendent cependant sur le fait que les atomes et les molécules simples sont des systèmes quantiques. Dans ce qui suit, nous entendrons par *système atomique* tout système physique microscopique qui obéit aux lois de la théorie quantique.

La description d'un système quantique s'effectue au moyen d'un objet mathématique qu'on appelle *vecteur d'état*. La description la plus générale s'effectue au moyen d'un *opérateur densité* (ou *matrice densité*), qu'il n'est pas nécessaire d'introduire à ce stade-ci. La *fonction d'onde* de Schrödinger est un exemple de vecteur d'état. On le note typiquement au moyen d'un *ket* tel $|\phi\rangle$. L'interprétation du vecteur d'état est une question controversée. Certains estiment qu'il décrit un système individuel, d'autres un ensemble statistique de systèmes, alors que pour d'autres encore il représente l'information d'un agent à propos du système. Quelle que soit l'interprétation privilégiée, cependant, le vecteur d'état correspond à une procédure de *préparation*. Un exemple de préparation consiste à diriger des photons de longueur d'onde donnée sur un polariseur linéaire. Tous les photons issus du polariseur sont alors associés à un

vecteur d'état spécifique. Le processus de préparation constitue une définition opérationnelle du vecteur d'état, qui en isole en quelque sorte les traits non controversés.

Le vecteur d'état est un élément d'un espace vectoriel $\mathcal{V}$ qu'on appelle *l'espace d'états*. Bien que la dimension de l'espace d'états de nombreux systèmes quantiques soit infinie, nous pourrons nous restreindre à des espaces de dimension finie. Dans ce cas, $\mathcal{V}$ coïncide avec $\mathbb{C}^N$, l'espace vectoriel complexe de dimension N, dans lequel on définit le produit scalaire usuel. Tous les systèmes quantiques identiques (par exemple, tous les atomes d'hélium) ont des espaces d'états isomorphes. Et chaque vecteur de l'espace d'états correspond, en principe, à un processus de préparation possible. La correspondance, par contre, n'est pas biunivoque. Deux vecteurs qui sont des multiples l'un de l'autre correspondent à la même préparation, c'est-à-dire à la même situation physique (au même état du système, si le vecteur est ainsi interprété)[4].

Soit $\{|a_i\rangle, i = 1 \ldots N\}$ une base orthonormée de l'espace d'états. Il est toujours possible, en principe, de mettre au point un appareil de mesure macroscopique qui a la propriété suivante. Si le système quantique est préparé dans l'état $|a_i\rangle$, alors au terme de la mesure l'appareil marque la valeur α_i, où ces valeurs sont toutes des nombres réels distincts. Plusieurs interprètent cette situation en énonçant que l'appareil mesure alors une grandeur physique A associée au système atomique, dont les valeurs possibles sont les α_i.

Les vecteurs $|a_i\rangle$ forment une base de l'espace d'états. Par conséquent, tout vecteur normé $|\phi\rangle$ peut s'exprimer en combinaison linéaire des $|a_i\rangle$, c'est-à-dire

$$|\varphi> = \sum_{i=1}^{N} c_i |a_i> \tag{2}$$

où les c_i sont des nombres complexes. De façon opérationnelle, la *règle de Born* s'énonce alors comme suit. Si l'on prépare un grand nombre de systèmes identiques dans l'état $|\phi\rangle$, et que l'on soumet chaque système à la mesure spécifiée ci-dessus, on obtiendra alors la valeur α_j avec une fréquence relative $|c_j|^2$ (dans la limite où le nombre de systèmes tend vers l'infini). Ainsi formulée, la règle ne dépend ni de l'interprétation de la théorie quantique, ni de celle des probabilités.

La règle de Born fait appel aux notions de mesure et d'appareil. D'un point de vue phénoménologique, ces notions paraissent passablement claires. Si, par

4. Il arrive aussi que deux processus opérationnellement distincts préparent le même état quantique.

contre, on souhaite décrire le processus de mesure de façon plus détaillée, nous devons être plus précis.

Nous allons supposer, dans le reste de cette section, que le vecteur d'état d'un système quantique décrit un système individuel (plutôt que, par exemple, un ensemble statistique de systèmes). D'un point de vue fondamental, un appareil est constitué d'un très grand nombre d'atomes, agencés de façon complexe. Individuellement aussi bien qu'en agrégats restreints, ces atomes obéissent aux lois de la théorie quantique. Faisons l'hypothèse que celle-ci est véritablement fondamentale, et que son champ d'application n'a pas de limites. Dans ce cas, l'appareil de mesure constitue lui-même un système quantique, auquel on peut associer un espace d'états. Il s'agit, bien sûr, d'un espace très compliqué, mais la simple hypothèse de son existence conduit à des conclusions inattendues.

Pour réaliser la mesure de la grandeur physique A, l'appareil doit pouvoir indiquer N valeurs différentes α_i. Pour ce faire, l'espace d'états de l'appareil doit comporter au moins N vecteurs orthogonaux $|\alpha_i\rangle$, chaque vecteur correspondant à un état où l'appareil marque la valeur correspondante[5]. Nous pouvons également supposer qu'il existe un vecteur $|\alpha_0\rangle$ qui correspond à un état initial où l'appareil ne marque aucune valeur.

Considérons une situation où l'appareil est préparé dans l'état $|\alpha_0\rangle$ et le système atomique est préparé dans l'état $|a_i\rangle$. On dit alors que le système global (constitué du système atomique et de l'appareil) est préparé dans l'état $|a_i\rangle|\alpha_0\rangle$[6]. Si le système atomique est dirigé vers l'appareil, ce dernier, au terme de la mesure, marquera la valeur α_i. Cela implique (en supposant que le vecteur d'état du système atomique ne change pas) que le vecteur d'état du système global sera donné par $|a_i\rangle|\alpha_i\rangle$.

Qu'arrivera-t-il maintenant si l'on prépare le système atomique dans l'état $|\phi\rangle$, représenté par l'équation (2) ? L'état initial du système global sera alors donné par $|\phi\rangle|\alpha_0\rangle$. Quel sera l'état du système global au terme de la mesure ? La dynamique d'un système quantique peut être compliquée, mais, pour tous les systèmes microscopiques, elle est régie par une équation linéaire (l'équation de Schrödinger, dans le cas non relativiste). En supposant que cette propriété est

5. En réalité, il y a un très grand nombre de vecteurs d'état associés à chaque valeur α_i, mais cela ne change pas la conclusion que nous allons obtenir.

6. L'objet $|a_i\rangle|\alpha_0\rangle$ est ce qu'on appelle un *produit tensoriel*. Cette notion, et d'autres succinctement introduites ici, sont précisées dans les ouvrages de mécanique quantique, par exemple Marchildon (2000).

universelle, l'équation d'évolution du système global devrait aussi être linéaire. Autrement dit, le vecteur d'état initial

$$|\varphi> |\alpha_0> = \sum_{i=1}^{N} c_i |a_i> |\alpha_0> \tag{3}$$

doit se transformer de sorte que, au terme de la mesure, il devienne

$$\sum_{i=1}^{N} c_i |a_i> |\alpha_i> \tag{4}$$

À première vue, ce résultat semble fort différent de ce qu'on voulait obtenir, c'est-à-dire une situation où l'appareil marque un résultat bien défini, par exemple α_j, avec une fréquence relative $|c_j\rangle^2$. Néanmoins, ce résultat est une conséquence inéluctable de l'association du vecteur d'état à un système individuel et de l'hypothèse selon laquelle la théorie quantique a une portée universelle. L'incompatibilité, à tout le moins apparente, du résultat (4) avec ce qu'on voudrait obtenir s'appelle le *problème de la mesure*. Les différentes interprétations de la théorie quantique visent principalement à résoudre ce problème.

4. Interprétations indéterministes de la théorie quantique

Dès son avènement, et pendant les deux ou trois décennies qui ont suivi, la théorie quantique a été interprétée presque unanimement de façon indéterministe. L'interprétation de Copenhague, constellation d'idées proposées surtout par Bohr et aussi par Heisenberg, a longtemps régné sans partage (Freire Junior, 2015). Les exposés de théorie quantique y ont greffé la notion d'effondrement du vecteur d'état, reconnue aujourd'hui largement étrangère aux idées de Bohr. De l'interprétation de Copenhague s'est développée, plus récemment, l'idée suivant laquelle le vecteur d'état représente non pas l'état d'un système atomique, mais l'information d'un observateur plus ou moins idéal.

4.1. L'effondrement du vecteur d'état

Envisagé très tôt par Dirac, l'effondrement du vecteur d'état a été formalisé par John von Neumann (1932). L'idée consiste à supposer que l'évolution d'un système atomique n'obéit pas toujours à une équation linéaire.

Spécifiquement, von Neumann fait l'hypothèse qu'un système atomique peut évoluer de deux manières, qu'il appelle le *processus 1* et le *processus 2*. Le processus 2 s'applique à toutes les circonstances différentes d'une mesure, et il

consiste simplement en l'évolution linéaire du vecteur d'état, régie par l'équation dite de Schrödinger. Le processus 1, par contre, s'applique exclusivement à une situation de mesure, et se produit à l'issue de la transformation du vecteur (3) dans le vecteur (4). Il consiste en la transformation du vecteur (4) en un seul de ses termes, de façon purement aléatoire. Von Neumann postule toutefois que la probabilité que le vecteur (4) se transforme dans le terme $|a_j\rangle|\alpha_j\rangle$ est égale à $|c_j\rangle^2$.

On voit sans peine que l'hypothèse de von Neumann implique la règle de Born. Dans la formulation de l'une et de l'autre, on prend pour acquis que les notions de mesure et d'appareil sont suffisamment claires.

Dans la théorie de l'effondrement, le vecteur $|a_j\rangle|\alpha_j\rangle$ dans lequel la superposition (4) se transforme est complètement aléatoire. La distribution statistique des résultats, par contre, dépend entièrement (à travers les coefficients c_i et les vecteurs normalisés $|a_i\rangle$) de la préparation du système atomique et de la nature de l'appareil. Autrement dit, elle conduit à des probabilités objectives qui dépendent entièrement de la configuration expérimentale. Il s'agit précisément du contexte pour lequel Popper a proposé l'interprétation propensionniste.

À l'origine, von Neumann n'a pas suggéré de mécanisme spécifique par lequel l'effondrement pourrait se produire. De tels mécanismes sont venus plus tard, l'un des plus connus étant la *localisation spontanée* (Ghirardi, Rimini, & Weber, 1986 ; Ghirardi, Pearle, & Rimini, 1990). Il s'agit d'un processus aléatoire qui a comme effet de réduire de temps à autre l'extension spatiale de la fonction d'onde d'une particule. La théorie est conçue de façon que la localisation d'un objet atomique soit extrêmement rare, tandis qu'un objet macroscopique (comme l'indicateur d'un appareil) est localisé en quelques nanosecondes. Comme dans l'approche de von Neumann, les probabilités sont objectives et elles s'inscrivent dans l'interprétation propensionniste.

L'effondrement du vecteur d'état vise à résoudre le problème de la mesure. Celui-ci a été formulé sous l'hypothèse que le vecteur d'état décrit un système quantique individuel. Qu'arrive-t-il si l'on s'affranchit de cette hypothèse ? Supposons, par exemple, que le vecteur d'état décrive non pas un système individuel, mais un ensemble statistique de systèmes semblablement préparés (Ballentine, 1970). Il est alors tentant de supposer qu'au terme de la mesure, le vecteur (4) représente non pas une superposition d'états macroscopiquement distincts, mais un ensemble statistique de systèmes dans chacun desquels l'appareil marque une valeur spécifique. Et ne se pourrait-il pas que cette valeur corresponde à celle qu'aurait eue la grandeur physique juste avant la mesure,

de sorte que celle-ci consisterait en un processus de séparation des systèmes de l'ensemble statistique selon la valeur initiale de la grandeur physique ? Malheureusement, cette dernière hypothèse est insoutenable. On peut en effet montrer (Kochen & Specker, 1967) qu'il est impossible d'attribuer des valeurs précises (même inconnues) à toutes les grandeurs d'un système physique, si elles satisfont aux relations algébriques prescrites par la théorie quantique. Néanmoins, on peut attribuer des valeurs précises à certaines grandeurs, comme nous le verrons à la section 5.1 avec les paramètres cachés.

4.2. L'interprétation de Copenhague

Les idées de Bohr et Heisenberg à propos de l'interprétation de la théorie quantique se sont élaborées au cours des 30 années qui ont suivi l'avènement de la théorie.

Selon Bohr et Heisenberg, un système atomique n'a de propriétés bien définies que dans le cadre d'une mesure, réalisée au moyen d'un appareil nécessairement décrit par la théorie classique. Ainsi, le problème de la mesure énoncé plus haut ne se pose pas, puisqu'on ne peut associer à l'appareil un vecteur d'état. Au problème de la mesure se substitue celui de la distinction entre le classique et le quantique : par exemple, dans quelles circonstances, ou à partir de quelle taille, de quelle masse ou de quel niveau de complexité un agrégat d'atomes ou de molécules satisfait-il aux lois de la théorie classique plutôt qu'à celles de la théorie quantique ?

Pilier de l'interprétation de Copenhague, le principe d'incertitude de Heisenberg énonce qu'aucun vecteur d'état ne permet de prédire à la fois le résultat de la mesure de la position et celui de la mesure de l'impulsion d'une particule tel l'électron. Aucun appareil ne peut d'ailleurs mesurer simultanément l'une et l'autre grandeurs. Selon Bohr, cela n'implique aucunement que la théorie quantique soit incomplète :

> « Bien qu'en physique quantique les phénomènes ne puissent plus être combinés de la manière habituelle, on peut dire qu'ils sont complémentaires en ce sens que c'est seulement ensemble qu'ils recouvrent toute évidence à propos des objets, celle-ci pouvant être définie sans ambiguïté. » (Bohr, 1998, p. 130).

Grâce à la complémentarité, la théorie quantique donne une description complète, et objective, d'un système atomique.

Le caractère objectif de la description est également souligné par Heisenberg :

> « La fonction de probabilité [...] contient des assertions à propos de possibilités ou, mieux, de tendances ("potentia" en philosophie aristotélicienne), et ces assertions sont complètement objectives, elles ne dépendent d'aucun observateur. » (Heisenberg, 1958, p. 27).

Comme Popper l'a lui-même noté, ces « tendances » de Heisenberg s'apparentent à la propension. Les probabilités ne dépendent que du vecteur d'état et de la configuration expérimentale. Ainsi, l'interprétation de Copenhague s'inscrit bien dans le cadre de l'interprétation propensionniste des probabilités[7].

4.3. L'observateur

Dans la présentation que nous avons faite, l'effondrement du vecteur d'état se produit lors de la mesure d'une grandeur physique associée à un système atomique au moyen d'un appareil macroscopique. Différents chercheurs (London & Bauer, 1939 ; Wigner, 1961) ont fait l'hypothèse que l'effondrement se produit au moment où un sujet conscient prend conscience du résultat. Cette idée est moins populaire aujourd'hui, mais l'intuition qu'un observateur est nécessaire, sinon à l'effondrement physique, du moins à la formulation de la théorie, est bien présente. Elle a été formulée de façon précise par Rudolph Peierls :

> « Selon moi, l'affirmation la plus fondamentale de la mécanique quantique est que la fonction d'onde ou, plus généralement, la matrice densité représente notre *connaissance* du système que nous essayons de décrire. » (Peierls, 1991, p. 19).

Peierls estime que cette hypothèse permet d'envisager l'effondrement sous un jour complètement différent. L'effondrement n'est plus un processus physique,

7. Il faut noter ici que le texte de Heisenberg cité ci-dessus se poursuit comme suit : « [La fonction de probabilité contient également] des assertions à propos de notre connaissance du système, qui bien sûr sont subjectives dans la mesure où elles peuvent être différentes pour différents observateurs. Dans les cas idéaux, l'élément subjectif de la fonction de probabilité peut être pratiquement négligeable en comparaison de l'élément objectif. Les physiciens parlent alors d'un "cas pur". » Cette remarque peut s'appliquer à des situations où l'observateur n'aurait qu'une connaissance partielle de la préparation de l'état du système atomique, qu'il doit alors décrire par un opérateur densité. La remarque de Heisenberg peut également anticiper la discussion de la section suivante.

mais il correspond plutôt à un changement d'information. Il n'y a donc aucune raison pour qu'il obéisse à l'équation de Schrödinger.

Quelle est la nature de l'observateur dont on parle ici ? Bien sûr, différents individus concrets peuvent avoir à propos du système atomique une connaissance plus ou moins complète. Y a-t-il un observateur idéal, dont la connaissance serait maximale et plus correcte que celle de tous les autres ? Bien que Peierls ne réponde pas précisément à cette question, son argumentaire semble appeler davantage une réponse positive. Si tel est le cas, l'interprétation logique de la probabilité paraît représenter le mieux le point de vue de Peierls.

D'autres, cependant, n'acceptent pas l'idée d'un observateur idéal. Ainsi en est-il du *qubisme*, ou *quantum Bayesianism*. Selon ce point de vue,

> « la mécanique quantique est un outil que chacun peut utiliser pour évaluer, sur la base de son expérience passée, ses attentes probabilistes à l'égard de son expérience ultérieure. » (Fuchs, Mermin, & Schack, 2014, p. 749).

Il n'y a pas ici, comme dans l'interprétation de Copenhague, de distinction entre le classique et le quantique. La distinction se situe entre l'agent et le reste du monde. Tout ce qui est à l'extérieur d'un agent A (y compris d'autres agents) constitue pour l'agent A un système quantique. Il en est ainsi pour tout autre agent. Différents agents ont en général, à propos d'un système atomique donné, différentes croyances. Ainsi,

> « les probabilités sont assignées à un évènement par un agent et elles sont spécifiques à cet agent. Les probabilités assignées par l'agent expriment son degré de croyance personnel à propos de l'évènement. » (Fuchs, Mermin, & Schack, 2014, p. 749).

Par conséquent,

> « le point de vue qubiste, selon lequel les états quantiques sont des jugements personnels d'un agent, est une conséquence inéluctable du point de vue subjectif des probabilités exprimé de manière si éloquente par Bruno de Finetti. » (Fuchs, Mermin, & Schack, 2014, p. 753).

Notons en terminant le caractère pragmatique, ou instrumentaliste, du point de vue de Peierls et du qubisme. Leurs opposants estiment que ces approches ne donnent pas une description suffisamment réaliste des systèmes quantiques et que, par conséquent, elles ne réussissent pas à résoudre le problème de la mesure.

5. Interprétations déterministes de la théorie quantique

5.1. La théorie de Bohm et de Broglie

Le formalisme de la théorie quantique, fondé sur l'équation de Schrödinger et la règle de Born, ne permet pas de prédire avec certitude le résultat de la mesure d'une grandeur physique. Bohr et Heisenberg, néanmoins, ont systématiquement affirmé que le formalisme est complet. Si l'on ne peut prédire le résultat de la mesure d'une grandeur, c'est, ont-ils soutenu, parce que la grandeur n'a pas de valeur bien définie avant la mesure.

Assez rapidement, cependant, d'autres chercheurs (Louis de Broglie et Albert Einstein en particulier) ont adopté une attitude différente. Selon eux, la raison pour laquelle la théorie quantique ne fait pas de prédictions certaines découle du fait qu'elle ne donne qu'une description incomplète d'un système atomique. En principe, disent-ils, une description plus complète du système est possible. La description complète comprendrait, en plus du vecteur d'état, différents paramètres dont la connaissance permettrait de faire des prédictions certaines. On les désigne d'habitude sous le nom de *paramètres cachés*, puisque leurs valeurs ne découlent pas de celle du vecteur d'état.

Dès 1927, de Broglie a proposé une théorie de paramètres cachés. Elle a véritablement pris son envol en 1952, lorsque David Bohm a résolu les objections auxquelles elle avait donné lieu. Cette théorie postule l'existence d'une grandeur physique privilégiée, en l'occurrence la position. Un électron, par exemple, a toujours une position bien définie, que l'on ne peut cependant connaître avec précision. La position constitue le paramètre caché de la théorie et, conjointement avec le vecteur d'état, elle donne une description complète du système quantique.

Voyons brièvement comment, pour une particule comme l'électron, s'articule la théorie de Bohm et de Broglie[8]. La dynamique de l'électron est régie par deux équations : d'une part l'équation de Schrödinger, qui détermine l'évolution temporelle de la fonction d'onde $\psi(\vec{r},t)$; d'autre part l'équation du mouvement qui s'énonce comme

$$m\vec{v} = \hbar\vec{\nabla}S \tag{5}$$

8. Strictement parlant, la théorie d'une particule doit être déduite de celle de l'ensemble des particules de l'univers, comme l'expliquent en détail Dürr, Goldstein, & Zanghí (1992).

Ici, m est la masse et $\vec{v}$ est la vitesse de l'électron, tandis que S est la phase de la fonction d'onde complexe. La trajectoire de l'électron est entièrement déterminée par la fonction d'onde, que de Broglie a appelée *l'onde pilote*.

Comment peut-on, au moyen d'une théorie parfaitement déterministe, recouvrer les prédictions statistiques de la théorie quantique ? La réponse est liée au processus de préparation d'état. La théorie de Bohm et de Broglie suppose que la préparation d'un électron dans l'état Ψ est incompatible avec la spécification de sa position. Plus précisément, la théorie suppose que de la position d'un électron dans l'état Ψ, on ne connaît que la densité de probabilité, égale à $|\psi(\vec{r},t)|^2$. Manifestement, il s'agit ici d'une probabilité purement subjective : la théorie est déterministe, mais notre méconnaissance des conditions initiales nous force à utiliser les probabilités. Ces probabilités, cependant, ne dépendent pas de la subjectivité d'un agent particulier. Elles sont liées à un agent idéal qui connaît exactement la fonction d'onde. Elles s'apparentent ainsi à l'interprétation logique de la probabilité.

On peut montrer que l'hypothèse selon laquelle la position est distribuée suivant le carré absolu de la fonction d'onde reproduit exactement toutes les prédictions statistiques de la théorie quantique. L'hypothèse est également vraie à tout instant si elle est vraie à un instant donné. Plus précisément, si la position est distribuée suivant $|\psi(\vec{r},t_0)|^2$ à l'instant t_0, alors l'équation (5) et l'équation de Schrödinger font qu'elle sera distribuée suivant $|\psi(\vec{r},t)|^2$ à l'instant t.

Notons finalement que la théorie de Bohm et de Broglie résout le problème de la mesure sans en appeler à une hypothèse comme l'effondrement. Au terme de l'interaction entre le système atomique et l'appareil, le vecteur d'état est bien représenté par l'équation (4). Néanmoins, la position du système atomique et celles des particules de l'appareil sont toujours bien définies, et se concentrent dans un seul des termes de (4). À toutes fins pratiques, on peut rendre compte de l'évolution ultérieure du système global en ne retenant que ce seul terme.

5.2. Les mondes multiples

Dans la théorie de Bohm et de Broglie, la fonction d'onde d'un système quantique évolue toujours de façon unitaire. À l'issue d'une mesure, cependant, tous les termes de la superposition s'annulent là où se trouvent les particules, à l'exception d'un seul de ces termes.

Dans une approche très différente, Hugh Everett a également proposé, en 1957, que n'importe quel système quantique évolue toujours de façon unitaire.

Il n'y a donc aucun processus physique qui, à la manière de l'effondrement, transformerait un système décrit par l'expression (4) en un système décrit par un seul des termes de l'expression. De manière audacieuse, Everett suppose plutôt que tous les termes de l'expression correspondent à des systèmes réels.

Voyons plus précisément ce que cela signifie. Un appareil mesure une grandeur physique associée à un système atomique, grandeur qui peut prendre N valeurs distinctes. Juste avant la mesure, il y a un système, un appareil et, disons, un observateur humain qui, selon Everett, sont tous décrits par la théorie quantique. Au terme de la mesure il y aura N systèmes, N appareils (chacun marquant un résultat distinct) et N observateurs (chacun observant un résultat distinct). Autrement dit, le monde initial s'est scindé en N mondes différents, tous aussi réels les uns que les autres.

Ce que nous venons de décrire s'appelle la théorie des *mondes multiples*. Tous n'interprètent pas l'hypothèse d'Everett de façon aussi radicale. Certains envisagent plutôt un dédoublement de la conscience de l'observateur, d'autres la formation de secteurs décohérents de la fonction d'onde. En fait, la nature de la multiplicité constitue un problème important de l'approche d'Everett (Marchildon, 2015). Nous nous attarderons à la théorie des mondes multiples parce qu'elle est particulièrement claire, et se prête bien à l'analyse de la probabilité.

À première vue, la probabilité semble totalement étrangère à l'approche d'Everett. Tout, en effet, paraît certain. Avant la mesure, l'observateur remarque que l'appareil se trouve dans la position neutre. S'il connaît la théorie quantique, et croit en l'approche d'Everett, il est certain qu'il se dédoublera en N copies de lui-même, chacune remarquant que l'appareil indique une valeur spécifique. Après la mesure, chaque copie de l'observateur (disons O_j) remarquera que l'appareil indique la valeur correspondante (ici α_j).

La probabilité peut néanmoins être introduite par l'argument suivant, proposé par Lev Vaidman (1998). Supposons que, tout au long du processus de mesure, l'observateur se trouve plongé dans un profond sommeil. Il se réveille seulement lorsque la mesure est terminée, et ne prend pas immédiatement connaissance de la valeur indiquée par l'appareil. À ce moment, il ne sait pas dans lequel des mondes multiples il se trouve. Il ne sait pas quelle est la valeur indiquée par l'appareil qui se trouve dans le même monde que lui. À la question « Quelle valeur ton appareil indique-t-il ? », il ne peut pas donner de réponse catégorique. Il ne peut que dire (s'il connaît la théorie quantique) que la proba-

bilité que l'appareil indique la valeur α_j est égale à $|c_j|^2$. Lorsque, ultérieurement, il prendra note du résultat, il devra bien sûr corriger son jugement.

Ainsi, la probabilité trouve aussi sa place dans l'approche d'Everett. De même que dans la théorie de Bohm et de Broglie, nous avons affaire à une probabilité subjective. Comme il s'agit du jugement d'un observateur idéal, on recouvre ici encore l'interprétation logique de la probabilité.

6. Conclusion

Il n'y a aucun doute que, parmi toutes les théories physiques, la théorie quantique est celle où les problèmes d'interprétation se posent avec le plus d'acuité. La théorie des probabilités se distingue également, dans le champ des mathématiques, par la diversité de ses interprétations. Le problème, néanmoins, se pose de façon différente dans les deux cas.

La principale fonction d'une interprétation de la théorie quantique consiste à établir comment le formalisme peut rendre compte de la mesure des propriétés d'un système atomique. Ces interprétations font toutes des hypothèses distinctes et, en ce sens, elles sont mutuellement contradictoires. Si le vecteur d'état s'effondre à la manière de von Neumann, il ne peut toujours évoluer de façon unitaire comme dans le cas de la théorie de Bohm et de Broglie. Et si tous les résultats d'une mesure coexistent, il ne peut y avoir de grandeur univoque comme la position. Les interprétations peuvent toutes tenter de répondre à la question « Comment le monde peut-il être pour que la théorie quantique soit vraie ? », mais ces réponses s'excluent, et une seule peut correspondre au monde réel. À l'inverse, rien n'oblige de donner une seule et unique interprétation de la théorie des probabilités.

Nous avons examiné, dans cet article, différentes interprétations de la théorie quantique et signalé, dans chaque cas, l'interprétation des probabilités qui nous semblait la plus adéquate. Ces relations sont résumées au tableau n°1. On ne prétendra pas que l'interprétation des probabilités résout les problèmes conceptuels de la théorie quantique. La clarification des liens entre l'une et l'autre permet toutefois de les poser de manière plus claire.

Théorie quantique	Probabilités
Effondrement	Propensionniste
Copenhague	Propensionniste
Épistémique (Peierls)	Logique
Qubisme	Subjective
Bohm et de Broglie	Logique
Mondes multiples	Logique

Tableau n°1.
Lien entre l'interprétation de la théorie quantique et l'interprétation des probabilités.

Remerciements

Je remercie Frank Crispino, Marian Kupczynski et Jean-René Roy de leurs commentaires sur une première version du manuscrit.

Bibliographie

Ballentine, L. E. (1970). The Statistical Interpretation of Quantum Mechanics. *Reviews of Modern Physics*, 42(4), 358-381. https://journals.aps.org/rmp/abstract/10.1103/RevModPhys.42.358

Bohm, D. (1952). A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden" Variables, I et II. *Physical Review*, 85(2), 166-193. https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.85.166 https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.85.180

Bohr, N. (1998). *Causality and Complementarity. The Philosophical Writings of Niels Bohr, Vol. IV* (édité par J. Faye & H. J. Folse). Ox Bow Press.

De Broglie, L. (1927). La mécanique ondulatoire et la structure atomique de la matière et du rayonnement. *Le journal de physique et le radium*, 8(5), 225-241. https://doi.org/10.1051/jphysrad:0192700805022500

Dürr, D., Goldstein, S., & Zanghí, N. (1992). Quantum Equilibrium and the Origin of Absolute Uncertainty. *Journal of Statistical Physics*, 67(5/6), 843-907. https://link.springer.com/article/10.1007/BF01049004

Everett, H. (1957). "Relative State" Formulation of Quantum Mechanics. *Reviews of Modern Physics*, 29(3), 454-462. https://journals.aps.org/rmp/abstract/10.1103/RevModPhys.29.454

Freire Junior, O. (2015). *The Quantum Dissidents : Rebuilding the Foundations of Quantum Mechanics (1950-1990)*. Springer.

Fuchs, C. A., Mermin, N. D., & Schack, R. (2014). An Introduction to QBism with an Application to the Locality of Quantum Mechanics. *American Journal of Physics*, 82(8), 749-754. https://doi.org/10.1119/1.4874855

Galavotti, M. C. (2005). *Philosophical Introduction to Probability*. CSLI Publications.

Ghirardi, G. C., Rimini, A., & Weber, T. (1986). Unified Dynamics for Microscopic and Macroscopic Systems. *Physical Review D*, 34(2), 470-491. https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.34.470

Ghirardi, G. C., Pearle, P., & Rimini, A. (1990). Markov Processes in Hilbert Space and Continuous Spontaneous Localization of Systems of Identical Particles. *Physical Review A*, 42(1), 78-89. https://journals.aps.org/pra/abstract/10.1103/PhysRevA.42.78

Hacking, I. (1990). *The Taming of Chance*. Cambridge University Press.

Hacking, I. (2006). *The Emergence of Probability* (2e édit.). Cambridge University Press.

Heisenberg, W. (1958). *Physics and Philosophy : The Revolution in Modern Science*. Harper Perennial, 2007.

Jeans, J. (1943). *Physique et philosophie* (traduction par R. Sudre). Marcel Rivière et Cie, 1954.

Kochen, S., & Specker, E. P. (1967). The Problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics. *Journal of Mathematics and Mechanics*, 17(1), 59-87. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-010-1795-4_17

Laplace, P. S. (1814). *Essai philosophique sur les probabilités*. Courcier. https://books.google.ca/books/about/Essai_philosophique_sur_les_probabilités.html?id=rDUJAAAAIAAJ&redir_esc=y

London, F., & Bauer, E. (1939). *La théorie de l'observation en mécanique quantique*. (Actualités scientifiques et industrielles, 775). Hermann.

Marchildon, L. (2000). *Mécanique quantique*. De Boeck.

Marchildon, L. (2015). Multiplicity in Everett's Interpretation of Quantum Mechanics. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 52(B), 274-284. https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2015.08.010

Mellor, D. H. (2005). *Probability : A Philosophical Introduction*. Routledge.

Pais, A. (1986). *Inward Bound : Of Matter and Forces in the Physical World*. Oxford University Press.

Peierls, R. (1991). In Defence of "Measurement". *Physics World*, 4(1), 19-20. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2058-7058/4/1/19/meta

Popper, K. R. (1959). The Propensity Interpretation of Probability. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 10(37), 25-42. https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1093/bjps/X.37.25?journalCode=bjps

Popper, K. R. (1982). *La théorie quantique et le schisme en physique* (traduction par E. Malolo Dissakè). Hermann, 1996.

Rutherford. E. (1900). A Radio-active Substance Emitted from Thorium Compounds. *Philosophical Magazine*, 49(296), 1-14. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14786440009463821?journalCode=tphm16

Vaidman, L. (1998). On Schizophrenic Experiences of the Neutron or Why We Should Believe in the Many-Worlds Interpretation of Quantum Theory. *International Studies in the Philosophy of Science*, 12(3), 245-261. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02698599808573600

Von Neumann, J. (1932). *Les fondements mathématiques de la mécanique quantique* (traduction par A. Proca). Félix Alcan, 1946.

Wigner, E. P. (1961). Remarks on the Mind-Body Question. Dans *The Scientist Speculates* (édité par I. J. Good) (pp. 284-302). William Heinemann.

Revue des Questions Scientifiques, 2021, 192 (1-2) : 117-136

L'humanité confrontée à son bug

Les pandémies parmi les dangers globaux

Doru Georg Margineanu
Département de Neurosciences
Université de Mons
Doru.Margineanu@skynet.be

Résumé. – Dans le contexte de l'actuelle pandémie de Covid-19, cet article propose une mise en perspective du sujet des pandémies, en le plaçant dans le cadre plus large des réflexions sur l'essence et l'avenir de l'humanité. Toujours parties des zones densément peuplées du globe, des pandémies ont sévi pendant toute l'histoire documentée, leur fréquence augmentant avec l'urbanisation et la mondialisation. Ainsi, la pandémie de Covid-19 est une épreuve « inédite » seulement pour les générations en vie actuellement et elle est plus choquante pour les habitants des pays fortunés de l'Occident, habitués à l'idée que des épidémies pourraient sévir uniquement dans les pays moins développés. Pourtant, la pandémie actuelle se distingue par sa rapidité de propagation sur tous les continents habités, conséquence de l'ampleur inouïe des voyages rapides à l'échelle planétaire. Le contraste entre l'efficacité du régime autoritaire chinois et les difficultés des démocraties occidentales à contenir la Covid-19 pourrait suggérer une inadéquation entre les libertés individuelles et la capacité d'affronter des défis graves pour la société entière. Mais d'autres pays extrême-orientaux, dont la culture place le commun avant l'individuel, ont contrôlé avec autant de succès la pandémie, sans avoir des régimes aussi contraignants qu'en Chine. La crise actuelle a révélé que la désindustrialisation de l'Europe est excessive et dangereuse. D'autre part, elle pousse à conscientiser l'unicité de l'humanité. Le titre *Le bug humain* d'un essai étrangement concomitant avec le début en Chine de la Covid-19 rappelle celui de l'œuvre principale de Teilhard de Chardin, *Le phénomène humain*, antérieure de trois quarts de siècle. Les contenus des deux essais vont dans des directions opposées, montrant un virage de l'émerveillement à l'angoisse dans la perception de la singularité de l'Humain. Dans la deuxième moitié du siècle passé, quand l'augmentation de la population mondiale s'est fortement accélérée, des biologistes penseurs ont conscientisé et exprimé, parfois de façon alarmante, les dangers majeurs auxquels l'humanité surnuméraire s'expose, en rendant la Terre inhabitable et en mettant en péril sa propre existence. Les pandémies, dont l'actuelle de Covid-19, font partie de ces dangers.

ABSTRACT. – In the context of the current COVID-19 pandemic, this article aims to put the subject of pandemics into perspective by looking at the big picture when it comes to contemplating the essence and future of humanity as a whole. Having always originated in densely populated areas of the globe, pandemics have occurred throughout recorded history with increasing frequency relative to urbanisation and globalisation. The COVID-19 pandemic can thus only be considered as a 'unique' experience as far as current generations are concerned, and is perceived as particularly shocking by those living in affluent Western countries who seemed comfortable with the idea that epidemics would only occur in less developed countries. However, the current pandemic stands out for its rapid spread throughout the inhabited continents as a consequence of the unprecedented volume of international travel. The flagrant contrast between the efficacy of China's authoritarian regime and the difficulties faced by Western democracies with respect to containing the COVID-19 virus, might suggest a disparity between individual freedoms and the ability to confront severe threats to society as a whole. Nonetheless, other Far Eastern countries, that place the good of the group above that of the individual, were equally successful in controlling the pandemic in the absence of regimes as restrictive as China's. On the one hand, the current crisis serves to demonstrate that Europe's deindustrialisation is not only excessive but hazardous. On the other hand, it serves to raise awareness of the uniqueness of humanity. An essay — that oddly coincided with the beginning of the spread of COVID-19 in China — entitled *Le bug humain* calls to mind the renowned Teilhard de Chardin essay, *Le phénomène humain*, which predated it by three quarters of a century. The contents of these two essays branch off in entirely opposite directions, demonstrating a shift from astonishment to anguish as regards the singularity of Humankind. In the second half of the last century, during a dramatic increase in the world's population, various forward-thinking biologists became aware of and expressed their growing concern, in oftentimes alarming ways, with respect to the major risks that an overpopulated humanity was exposing itself to by rendering the Earth uninhabitable and thereby endangering its very existence. Pandemics, including COVID-19, are among these dangers.

MOTS-CLÉS. – Bombe démographique — Circuit de la récompense — Covid-19 — Mondialisation — Péché originel

Plan de l'article

1. **Introduction**
2. **Les pandémies : une permanence de l'histoire humaine**
   - 2.1. **Les pestes : de l'Antiquité aux temps modernes**
   - 2.2. **La diversité des pathologies épidémiques ayant généré des pandémies**
3. **En quel sens la pandémie de Covid-19 est-elle une épreuve inédite ?**
4. **L'extension géographique et l'amplification des interactions entre les groupes humains**
5. **Des doutes et un acquis significatif**
6. **La singularité de l'Humain et sa perception, entre l'émerveillement et l'angoisse**
   - 6.1. **Le circuit de la récompense**
   - 6.2. **Le cerveau « triunique »**
   - 6.3. **L'animal raisonnable et son « péché originel »**
   - 6.4. **La bombe qui n'a pas (encore) explosé**
7. **Conclusion**

1. Introduction

Une maladie infectieuse émergente[1], apparue — de façon encore assez obscure — vers la fin de novembre 2019 dans la métropole chinoise Wuhan (la capitale de la province de Hubei en Chine centrale), a pris rapidement une telle ampleur que l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a édicté le 30 janvier 2020 l'état d'urgence de santé publique de portée internationale[2]. Puis, le 11 mars 2020, cette maladie-là — appelée « syndrome respiratoire aigu sévère (SARS) causé par le coronavirus SARS-CoV-2 » et abréviée Covid-19 — a été officiellement déclarée par l'OMS comme étant une pandémie[3]. Des mots savants et des acronymes techniques comme ceux-ci, répétés au long des jours et des mois par les mass-médias, sont entrés de façon obsessive dans nos conversations et nos pensées, attestant la résurgence aiguë d'une des plus angoissantes craintes qui hantent l'humanité depuis la nuit des temps, surtout depuis le Moyen Âge (Duby, 2020, pp. 61-69) : la peur des épidémies. Dans ce contexte, la mise en perspective du sujet des pandémies, en le plaçant dans le cadre plus large des réflexions sur l'essence et l'avenir de l'humanité, semble opportune. C'est l'objet de cet article.

2. Les pandémies : une permanence de l'histoire humaine

2.1. Les pestes : de l'Antiquité aux temps modernes

La première épidémie suffisamment attestée avec les caractéristiques d'une pandémie est la « peste d'Athènes », qui a sévi en Grèce antique en trois vagues, entre 430 et 426 av. J.-C., tuant plus d'un quart de la population d'Athènes, y compris son illustre dirigeant Périclès. Décrite par Thucydide, dans le 2e livre de sa célèbre *Histoire de la guerre du Péloponnèse* (ch. VII), cette épidémie — probablement, mais pas certainement, de typhus[4] — a débuté en

1. Maladie inattendue causée par un agent pathogène biologique (bactérie, virus, parasite, champignon) ou un prion, affectant l'homme et/ou l'animal.
2. Déclaration de l'OMS quand survient un événement extraordinaire dont on considère qu'il constitue un risque pour la santé publique dans plusieurs pays à cause du risque de propagation internationale de maladies.
3. Épidémie présente sur un espace géographique large, international. Dans le sens courant, elle touche une partie significative de la population mondiale.
4. Nom d'un groupe d'infections provoquées par des bactéries de la famille des rickettsies, plus particulièrement le typhus exanthématique, transmis par le pou de corps, et le typhus murin, transmis par la puce du rat.

Éthiopie, d'où elle est passée en Égypte et Lybie, avant d'atteindre l'espace grec et d'entrer à Athènes par sa porte de ravitaillement, le port du Pirée.

Une pandémie très meurtrière de peste bubonique[5] a commencé en 541, pendant le règne de l'empereur romain d'Orient (byzantin) Justinien le Grand, duquel elle a reçu le nom de « peste de Justinien »[6]. Elle est revenue à de nombreuses reprises durant deux siècles et s'est propagée de l'Asie de l'Ouest et de l'Afrique du Nord à toute l'Europe, jusqu'aux Îles Britanniques. L'ensemble des multiples vagues de cette pandémie est considéré comme la *première pandémie de peste bubonique*. Puis, vers la fin du Moyen Âge, une *deuxième pandémie* du même genre a sévi en Asie, Afrique du Nord et Europe. Celle-ci, qui a duré de 1346 à 1353, est la pandémie la plus meurtrière documentée, ayant causé pendant moins d'une décennie la mort de jusqu'à la moitié des Européens (Aberth, 2005, p. 1), d'où son surnom de « peste noire » ou « mort noire ». Vu l'ampleur de la calamité, ses origines et les voies de sa propagation font depuis longtemps l'objet de très nombreuses recherches historiques, ainsi que d'études récentes de biologie moléculaire, dont une synthèse est donnée par Slavin (2019). Le consensus actuel est que la peste noire a eu son origine dans l'Asie centrale, d'où elle s'est propagée le long de « la route de la soie »[7] jusqu'aux ports-comptoirs génois de Crimée. Les navires des marchands génois, par les puces des rats noirs qui y vivaient, l'ont ensuite propagée dans tout le bassin méditerranéen, d'où la peste s'est répandue dans toute l'Europe, largement par les puces de l'homme. Après la peste noire, de très nombreuses épidémies de peste bubonique ont éclaté jusqu'au XIXe siècle sur des zones géographiques plus limitées, mais une troisième pandémie de peste bubonique a débuté en 1855 dans la province chinoise de Yunnan. Appelée « peste de Chine », celle-ci s'est répandue sur tous les continents. Pourtant, le nombre de victimes a été grand surtout en Inde (environ 10 millions) et en Chine, et beaucoup moindre dans le reste du monde. C'est pendant les récurrences de cette pandémie que le bactériologiste français d'origine suisse Alexandre Yersin a identifié (en 1894, à Hong Kong) la bactérie responsable de la peste, appelée

5. La peste est une maladie à forte morbidité, commune aux humains et aux animaux (une anthropozoonose), causée par une bactérie en forme de bâtonnet (le bacille) *Yersinia pestis*. Elle peut prendre trois formes, dont la plus fréquente est la peste bubonique.
6. Une liste chronologique compréhensive des épidémies les plus importantes, avec leurs nombres de victimes et les sources qui les documentent, se trouve dans Wikipédia en anglais : https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_epidemics.
7. La *route de la soie* est un réseau de routes commerciales qui depuis l'Antiquité reliaient l'Asie et l'Europe, du centre de la Chine jusqu'à la limite orientale du bassin méditerranéen. Elle a le nom de la marchandise-phare qui y transitait.

ensuite, en son honneur, *Yersinia pestis*. Sa découverte a ouvert la voie vers l'élaboration des remèdes.

2.2. La diversité des pathologies épidémiques ayant généré des pandémies

D'autres pathologies infectieuses, en plus de la peste, sont devenues pandémies et ont causé de très nombreuses victimes, parfois des dizaines de millions. Pendant le XIXe siècle ont éclaté pas moins de cinq pandémies de choléra[8]. Elles ont eu leurs origines presque toujours dans le delta du Gange, en Inde, d'où elles ont été répandues par les voyageurs — y compris des pèlerins à La Mecque — et par les troupes coloniales britanniques. Le XXe siècle, aussi, a vu deux pandémies de choléra, dont la plus récente a débuté en 1961 et s'est propagée dans tous les continents, favorisée par le développement des moyens de transport et les migrations.

Les virus de la grippe ont causé de très nombreuses épidémies, localisées surtout en Europe et dans les Amériques, mais en 1889-1890 une de celles-ci, débutée en Sibérie, est devenue une pandémie mondiale, qui a causé environ un million de victimes. Ce bilan tragique a été pourtant très largement dépassé par celui de la pandémie de grippe qui, entre février 1918 et avril 1920, a fait plus de victimes (quelque 50 millions) que la Première Guerre mondiale, qui s'achevait le 11 novembre 1918 (Williams, 2014). Elle est connue sous le nom de « grippe *espagnole* » simplement parce que dans les grands pays en guerre la censure n'avait pas permis aux journaux de rapporter le vrai nombre de victimes, pour ne pas affecter le moral des populations, alors que dans l'Espagne neutre cela avait été possible. D'autres pandémies sont survenues après 1920, y compris de grippe, telles la grippe « asiatique » de 1956-1958 et la grippe mal-nommée « porcine » de 2009-2010. Malgré cela, c'est le souvenir poignant de la grippe « espagnole » qui a été ressuscité, un siècle après, par l'actuelle pandémie de Covid-19, car celle-là avait été particulièrement éprouvante, surtout dans l'Europe meurtrie par la guerre.

La diversité des pathologies épidémiques qui peuvent se répandre jusqu'à devenir pandémies est illustrée par les exemples de l'encéphalite léthargique[9]

8. Le choléra est une toxi-infection entérique grave, causée par la bactérie *Vibrio cholerae*, un vibrion décrit en 1884 par le célèbre bactériologiste allemand Robert Koch.
9. Cette encéphalite est appelée « la maladie de von Economo-Cruchet » d'après les noms des deux médecins qui l'ont indépendamment décrite en 1917, le neurologue autrichien Constantin von Economo et le pathologiste français Jean-René Cruchet. Elle est parfois

et du syndrome d'immunodéficience acquise (le sida)[10]. De 1915 à 1926, l'encéphalite léthargique a affecté quelque 5 millions de personnes de par le monde, en tuant environ 1,5 million et en laissant chez d'autres des séquelles neurologiques très graves. Sa cause est restée obscure presque un siècle, jusqu'à la conclusion assez récente qu'il s'agit d'un entérovirus (Dourmashkin *et al*., 2012). Le sida, apparu au début des années 1980 et continuant à sévir partout dans le monde, tout particulièrement en Afrique subsaharienne, est largement considéré une pandémie, malgré que l'OMS utilise l'expression *global epidemic*[11]. Son effroyable notoriété est justifiée non seulement en raison de ses environ 30 millions de victimes — dont plusieurs célébrités du milieu artistique —, mais aussi à cause des implications sociétales dues aux spécificités de propagation de cette pathologie.

À part les exemples ci-dessus, beaucoup d'autres épidémies ont été extrêmement meurtrières, même sans sévir sur des territoires aussi larges que les pandémies. Les exemples les plus sinistres sont les épidémies de variole, salmonellose, grippe, etc. qui, après la conquête européenne des Amériques, y ont décimé une très grande partie des populations indigènes (Diamond, 2000, chap. 11), lesquelles n'avaient pas été exposées auparavant aux germes euro-asiens de ces maladies-là.

Ce bref aperçu des épidémies répandues sur des aires géographiques justifiant qu'elles soient considérées comme des pandémies vise seulement à montrer que de tels fléaux ont accompagné toute l'histoire connue de l'humanité. Il convient de le clore en notant les faits — plutôt prévisibles, mais qui méritent d'être épinglés — que les pandémies ont toujours débuté dans des zones densément peuplées du globe et que leur fréquence s'est accrue avec l'avancement de l'urbanisation et de la mondialisation[12].

---

appelée « maladie du sommeil européenne », distincte de la maladie du sommeil africaine, qui est une maladie parasitaire.

10. Le sida est l'ensemble de symptômes dus à la destruction du système immunitaire par le virus de l'immunodéficience humaine (VIH), entraînant au dernier stade d'immunodépression la mort par suite des maladies infectieuses causées par des germes normalement peu agressifs (maladies opportunistes).
11. Voir https://www.who.int/hiv/data/en/.
12. Les dictionnaires définissent ce terme comme le fait de devenir mondial, donc une interaction généralisée entre les différentes parties de l'humanité, en particulier l'élargissement du champ d'activité des agents économiques du cadre national, à l'échelle mondiale, entrainant une interdépendance croissante des pays. Le terme anglais « *globalisation* » est parfois utilisé comme un anglicisme équivalent.

3. En quel sens la pandémie de Covid-19 est-elle une épreuve inédite ?

L'affirmation selon laquelle la pandémie actuelle de Covid-19 est une épreuve inédite qui confronte la société est devenue un quasi-leitmotiv des mass-médias de partout, répété autant par des responsables politiques annonçant les restrictions de liberté indispensables pour endiguer la calamité, que par des spécialistes qui la décrivent et conseillent que faire.

L'adéquation de l'épithète « inédite » semble évidente, vu l'ampleur des souffrances et le changement de la vie de tous. Car la symptomatologie du Covid-19 va bien au-delà de la fièvre, la toux, la dyspnée et l'épuisement propres aux grippes, arrivant souvent à des formes aiguës de pneumonie et de détresse respiratoire. Celles-ci nécessitent des soins intensifs lourds qui mettent en grave difficulté les systèmes hospitaliers et tuent surtout des personnes fragilisées par l'âge et/ou d'autres pathologies. Seulement jusqu'au milieu du mois de novembre 2020, la Covid-19 avait contaminé plus de 54 millions de personnes et fait 1,3 million de victimes de par le monde[13]. Et, avant qu'on ne dispose d'un traitement antiviral spécifique et que les vaccins récemment lancés aient l'effet attendu, les autorités de partout n'ont eu d'autre choix, pour endiguer la pandémie, que d'essayer de réduire ou de ralentir la propagation du virus, qui passe entre personnes principalement par voie aérienne et par les objets touchés. La prévention par distanciation sociale, port des masques et hygiène des mains étant insuffisante, la plupart des autorités nationales ont imposé — avec une rapidité et une sévérité variables d'un pays à l'autre — des restrictions de voyages, des limitations ou l'interdiction de tout rassemblement de personnes, jusqu'au confinement (plus ou moins total et prolongé) de la population. Ainsi, quand les parents ne vont plus au travail (parce qu'ils ont perdu leurs jobs ou parce qu'ils font du télétravail), les enfants ne vont plus ni à l'école (l'enseignement étant à distance) ni aux clubs sportifs (fermés), et les personnes âgées ne peuvent plus recevoir la visite de leur famille ; quand les stades sont sans les fans de matches, les salles de concert sans les mélomanes, tout comme les salles de théâtre et de cinéma sans spectateurs ; quand les restaurants et tous les commerces jugés « non essentiels » sont fermés, les fêtes annulées, les offices religieux et même les cérémonies funéraires réduites au strict minimum, etc.,

13. Données du Center for Systems Science and Engineering, John Hopkins University (Baltimore, USA) https://gisanddata.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6

etc., dans de telles circonstances, comment douter que la société ne soit pas confrontée à une épreuve « inédite » ?

Pourtant, le bref rappel historique de l'abondante récurrence des pandémies suggère qu'il convient de mieux cerner le sens de l'inédit, dans ce cas-ci. Car : 1°) même les pires symptômes du Covid-19 sont d'un genre connu ; 2°) son germe pathogène lui aussi est d'un genre déjà connu, étroitement apparenté au SARS-CoV-1, qui a causé l'épidémie de SARS déclarée en 2002 dans la province chinoise de Guangdong; et 3°) la morbidité du Covid-19 s'avère bien en dessous de celles propres à plusieurs autres pandémies. On doit donc admettre que la pandémie Covid-19 est une « épreuve inédite » seulement pour les générations en vie actuellement et, aussi, que l'inédit est plus pénible pour nous, les habitants de l'Occident « riche », trompés par l'idée convenue que des épidémies ne peuvent sévir que dans les pays moins développés.

Toutefois, il y a un élément d'inédit absolu par rapport à toutes les pandémies précédentes. C'est la rapidité avec laquelle la Covid-19 s'est propagée sur tous les continents habités — un corollaire naturel de l'ampleur inouïe des voyages rapides à l'échelle planétaire, qui sont un trait caractéristique de la mondialisation contemporaine.

4. L'extension géographique et l'amplification des interactions entre les groupes humains

L'interaction, sur des aires géographiques de plus en plus vastes, entre les gens, les agents commerciaux (dans le sens le plus large) et les gouvernants (en tout genre) est un processus perceptible depuis l'Antiquité, illustré par la pléiade de colonies grecques et phéniciennes dans tout le bassin méditerranéen et du Pont-Euxin (la Mer Noire), par l'empire transcontinental d'Alexandre le Grand, par l'impressionnant réseau de routes romaines ou par la très longue route de la soie. Depuis le XVe siècle, ce processus est devenu une vraie « mondialisation » et n'a cessé de s'accélérer avec le progrès des transports, qui ont évolué depuis les caravelles de Christophe Colomb et Vasco de Gama jusqu'aux avions stratosphériques ayant rempli le ciel dès la fin du XXe siècle, en passant par les réseaux de chemins de fer du XIXe siècle et les autoroutes du XXe siècle.

La mondialisation est aussi le résultat du progrès continu des moyens de transmission d'informations, amorcé au XVe siècle par l'invention de l'imprimerie typographique (de Gutenberg). Le télégraphe électrique, la téléphonie et l'installation des câbles sous-marins de télécommunications du XIXe siècle,

puis la communication sans fil par ondes hertziennes — généralisée dès les années 1920 par des stations radio partout dans le monde — avaient continué le processus d'interconnexion informationnelle, couronnée depuis les années 1960 par les satellites artificiels de télévision. Ceux-ci ont rendu possible que des événements de n'importe où soient vus et entendus presque instantanément partout dans le monde, lequel devenait ainsi un « village global »[14]. Ensuite, deux progrès technologiques majeurs des dernières décennies ont poussé l'intégration informationnelle mondiale vers un climax : 1°) l'essor, après 1990, du système global de gestion de l'information par des documents d'hypertexte gérés par un réseau mondial d'ordinateurs interconnectés — l'internet ou « la toile » — et 2°) l'avènement de la téléphonie mobile grand public, marqué par le lancement, en 2007, du téléphone mobile multifonction (le *smartphone*). Maintenant, plusieurs milliards d'humains possèdent et abusent jusqu'à l'addiction d'un outil léger et commode de communication audio et vidéo à l'échelle mondiale, combiné avec une photo caméra numérique et un ordinateur portable servant d'assistant numérique personnel.

Le développement des technologies de l'information et de communication, ajouté à celui des moyens de transport des marchandises et des personnes, ainsi que l'application étendue du principe de libre-échange, ont accompli une mondialisation poussée de l'économie — évolution qui était vue, dans les années 1990, comme porteuse strictement de bénéfices[15]. Mais la pandémie actuelle a révélé aussi des risques majeurs entrainés par la délocalisation à outrance — au nom d'une mondialisation visant exclusivement le profit immédiat — de la fabrication de n'importe quel produit, qui peut parfois devenir indispensable et difficilement accessible. Au printemps 2020, ce fut le cas des masques chirurgicaux, des ventilateurs pulmonaires et de certains médicaments de base, en rupture de stock, mais d'autres crises peuvent bien révéler d'autres vulnérabilités. Car il ne faut pas oublier que dans un « village », fût-il « mondial », tout circule rapidement : l'information, les marchandises et les personnes. Et avec celles-ci, les facteurs de risque, à commencer par les germes pathogènes.

14. Ce syntagme, entré dans le langage courant, a été conçu et popularisé par le philosophe canadien Marshal McLuhan, dans un essai célèbre d'histoire des mass-médias : *The Gutenberg Galaxy : The Making of Typographic Man* (University of Toronto Press, Toronto, Canada, 1962).
15. Le titre du livre d'Alain Minc, *La mondialisation heureuse*, en est une illustration (Paris : Plon, 1997).

5. Des doutes et un acquis significatif

Le sens plus limité de l'inédit concédé ci-dessus à l'épreuve Covid-19 ne doit pas occulter la réalité que cette pandémie a fait resurgir une certaine inadéquation entre les libertés individuelles et l'efficacité à faire face à des défis graves qui confrontent la société. L'extrapolation optimiste (et plutôt hâtive !) d'une réalité du domaine économique à toute la vie sociale a forgé depuis seulement quelques décennies l'idée que la démocratie, en plus d'être meilleure pour la vie des gens, serait aussi le système le plus robuste. Car, s'il existe encore quelques états qui se revendiquent des monarchies absolues (le plus notable étant l'Arabie saoudite), l'absolutisme à la manière du Roi-Soleil est devenu un sujet plutôt historique. Même l'idée de « despotisme éclairé » — pourtant si chère aux philosophes du siècle des Lumières, comme Voltaire — est rangée dans un passé qu'on aimerait croire clos. Car, après l'écrasement en 1945 de la belliqueuse dictature hitlérienne et du militarisme japonais et surtout après l'implosion en 1989 des dictatures communistes en Europe et la désagrégation du système soviétique, il semblait évident que la démocratie, respectueuse des libertés individuelles — sanctifiées en tant que droits humains — soit le système de gouvernance le plus vigoureux, donc capable de faire face à tous les défis.

Cette idée, rassurante pour tous ceux attachés à la démocratie, semble mise à mal par l'efficacité à contenir la Covid-19 en Chine continentale — là même où le germe de l'épidémie est apparu — contrastant avec les difficultés de nos démocraties occidentales à y faire face (Boniface, 2020, chap. 2, 3). Il est fort probable que le régime strictement autoritaire (même si on ne le désigne plus comme totalitaire[16]) du parti communiste chinois (PCC) — qui a étouffé brutalement le signal initial[17] de l'apparition de la nouvelle maladie — n'hésite pas à ajuster le nombre rapporté de victimes. Aussi, il est certain que la surveillance policière étroite, à laquelle les Chinois sont soumis continuellement, a rendu possibles des mesures draconiennes, comme de très longs confinements en masse imposés à la population. Néanmoins, l'exploit de quasi arrêter la Covid-19 à Wuhan même reste objectivement visible, alors que nos démocraties occidentales s'étouffaient à faire face à la deuxième vague et craignent d'autres

16. Cette distinction est détaillée dans le chapitre 6 du livre de Boniface (2020).
17. Le cas du lanceur d'alerte sur le coronavirus, le médecin Li Wenliang de l'Hôpital central de Wuhan est emblématique pour la censure policière du PCC (https://www.bbc.com/news/world-asia-china-51364382). Une plus ample discussion est dans le chapitre 3 du livre de Boniface (2020).

rebonds de la pandémie, les mesures hésitantes prises par nos gouvernements n'étant respectées qu'en partie, souvent contestées par les populations et parfois même invalidées par la justice.

Le contraste entre l'efficacité du régime durement autoritaire chinois et les difficultés des démocraties face à la Covid-19 est certainement troublant. Mais y voir un discrédit de la démocratie serait simplement succomber à la propagande arrogante du PCC. Car d'autres pays — à commencer par Taiwan, mais aussi la Corée du Sud, le Japon, Singapour — ont contrôlé avec autant de succès la pandémie, sans qu'il y règne des régimes aussi contraignants qu'en Chine « populaire ». Toutefois, on doit noter que ces exemples sont des pays asiatiques extrême-orientaux, où la tradition culturelle place le commun avant l'individuel. En fait, la Covid-19 nous oblige tous à nous rappeler que la vie en commun n'est pas possible sans aucune restriction des libertés individuelles, car « la liberté des uns s'arrête où commence celle des autres » (proverbe français).

Plus important encore est que cette crise a révélé le danger de la désindustrialisation excessive de l'Europe, par l'appât d'une main-d'œuvre bon marché — ce qu'elle n'est que temporairement ! Au printemps 2020, on a vu, aux dépens de vies humaines, que ce volet de la mondialisation rend nos pays dangereusement tributaires d'un régime non démocratique et mercantile, ayant des visées clairement hégémoniques.

D'autre part, l'évidence du caractère absolument mondial de ce fléau — qui touche tous les pays sans distinction de leurs standards de vie, des systèmes politiques qui y règnent et de la couleur de peau des populations — ainsi que le fait qu'on partage tous la même peur, contribuent, ne fût-ce que de façon implicite, à conscientiser l'intégralité de l'humanité. Ce possible effet de la pandémie actuelle est vraiment inouï, par rapport à toutes les précédentes et, pourvu qu'il perdure, on pourrait dire que c'est quelque chose à quoi malheur est bon !

6. La singularité de l'Humain et sa perception, entre l'émerveillement et l'angoisse

6.1. Le circuit de la récompense

Une simple coïncidence — pourtant, pas dépourvue de relevance — a fait que précisément lorsqu'en Chine débutait la Covid-19, en décembre 2019, à Paris sortait (chez l'éditeur Laffont) un essai remarquable, dont le titre étrange

Le bug humain (Bohler, 2019), rappelle celui de l'œuvre célèbre de Teilhard de Chardin (1955) : *Le phénomène humain*. Mais déjà le sous-titre du livre de S. Bohler, *Pourquoi notre cerveau nous pousse à détruire la planète et comment l'en empêcher*[18], sonne comme une mise en garde contre toute similarité de contenu avec le célèbre essai de Teilhard de Chardin. Ainsi, toute éventuelle évocation en commun de ces deux essais traitant de « l'Humain » ne saurait être qu'une vision antiparallèle.

La concomitance de la parution du livre sur le « bug » et du début de la pandémie actuelle, bien que fortuite, ne semble pas un hasard dénué de toute pertinence. Car, l'essai de Bohler avertit que « nous sommes peut-être la dernière génération à vivre dans l'opulence, la santé et la consommation sans frein » (p. 9). Or, la pandémie, en plus d'affecter la santé de beaucoup de gens, ampute déjà maintenant le bien-être matériel de très nombreux autres et cause d'immenses dégâts économiques, inévitables et encore difficiles à anticiper exactement. D'autre part, le brusque coup de frein imposé par la Covid-19 aux déplacements en tout genre des personnes — de la navette journalière pour le travail jusqu'au tourisme international de masse — ainsi qu'aux différentes consommations, si désagréable soit-il, entraine un certain ralentissement des activités destructrices de l'Homme sur son milieu de vie, la Terre.

Bohler appelle « bug » la singularité de l'espèce *Homo sapiens* d'avoir un cortex cérébral d'une complexité neuronale qui lui a permis de dominer toutes les autres espèces et de prendre possession de la Terre, tout en étant soumis à la même motivation que tous les vertébrés nous ayant précédés dans l'évolution, celle de poursuivre les objectifs primaires de la survie à brève échéance : manger et se reproduire. En fait, notre cortex cérébral si développé contient des réseaux neuronaux qui nous rendent capables de fabriquer des outils de plus en plus complexes et nous donnent les moyens d'une socialisation très ample. Mais en dessous du cortex se trouve un noyau basal (le striatum) qui motive et renforce nos comportements sur le même principe que chez tous les animaux ayant un cerveau, dès le plus simple. Ce principe veut que toute action qui peut augmenter la chance de survie de l'individu (comme se nourrir) et transmettre ses gènes (par activité sexuelle) pousse le striatum à envoyer au cortex un neuromédiateur (la dopamine) qui 1°) produit la sensation de plaisir et 2°) consolide le circuit neuronal ayant régi le comportement en question. Ainsi, ce « circuit de la récompense » pousse les humains à consommer toujours plus et plus vite, les rendant inaptes à se tempérer en vue de ne pas compromettre l'avenir de

18. Le contenu de ce livre est passé en revue dans un compte rendu récent : *Revue des Questions Scientifiques*, 2020, 191 (3-4), 502-504.

l'humanité. Le bug de la condition humaine est donc d'avoir un cerveau qui nous donne une capacité de plus en plus étendue, mais qui reste au service des mêmes objectifs élémentaires (du striatum) d'obtenir plus et plus facilement de la nourriture, du sexe et du pouvoir. Ce bug fait que l'Homme soit devenu un danger mortel pour lui-même, en détruisant la planète, dont il a colonisé presque tous les recoins, quasi épuisé les ressources et pollué la plus grande partie jusqu'à la rendre inhabitable.

6.2. Le cerveau « triunique »

Sans avoir évoqué un bug comme celui du circuit neuronal de la récompense, l'idée que l'évolution nous a dotés d'un cerveau puissant, mais soumis inexorablement à des pulsions qui peuvent devenir meurtrières, avait été avancée depuis les années 1950 dans une théorie proposée par le remarquable médecin et neuroscientifique américain Paul D. MacLean (1955), celui qui a introduit le concept neuroanatomique de système limbique. Sa théorie, appelée « du cerveau triunique », considère que le cerveau humain est le résultat d'une évolution en trois phases distinctes, reflétée dans trois couches anatomiques superposées, correspondant à l'apparition des différentes classes d'animaux. Le plus enfoncé serait le cerveau du début de la phylogenèse des vertébrés, le cerveau « reptilien ». Il régit les comportements primaires assurant les fonctions de survie de l'individu (l'homéostasie, l'alimentation, le sommeil) et de l'espèce (la reproduction). Anatomiquement, le cerveau reptilien correspond au tronc cérébral. Au-dessus serait le cerveau paléomammalien, apparu chez les premiers mammifères, responsable des comportements émotifs et instinctifs, ainsi que de la mémoire. Celui-ci correspond au système limbique. Encore au-dessus de ces deux, le cerveau néo-mammalien, correspondant au néocortex, est le plus récent et proprement « humain », car il permet le raisonnement, le langage et toutes les fonctions intellectuelles complexes.

La théorie du cerveau triunique a été dépassée par les données neuroanatomiques ultérieures (Dortier, 2011), contestée en psychiatrie (Cesario, Johnson & Eisthen, 2020) et même raillée (de Pracontal, 2005). Mais par-dessus sa remise en cause scientifique, pour le sujet de cet article, il est relevant de souligner l'impact culturel considérable de l'idée que nos actions procèdent, souvent de façon contradictoire, à la fois de l'intellect et de l'émotion, qui coexistent, mais sont logés distinctement dans notre cerveau. En plus d'avoir inspiré bon nombre d'œuvres littéraires et artistiques, cette idée est à la base de l'essai très connu *The Ghost in the Machine* (Koestler, 1967), où l'auteur pointe et analyse la troublante dualité du comportement humain. Il note qu'une tendance para-

noïde est présente dans toute l'histoire de notre espèce, montrant qu'elle serait donc inhérente à la condition humaine. Insistant sur la dissociation mentale entre raison et croyance, donc entre l'intellect et l'émotion, Koestler l'attribue, sous l'influence de la théorie du cerveau triunique, à un certain manque de coordination entre les structures anciennes et la plus récente du cerveau humain, survenu au cours de l'évolution. On peut y voir aussi un énoncé plus récent d'un sujet très ancien, celui de la nature duale de l'Homme.

6.3. L'animal raisonnable et son péché originel

Le début connu de l'idée explicite que l'Homme surpasse par son intellect la catégorie des animaux à laquelle, pourtant, il appartient, on le trouve chez Aristote. « Le Philosophe » avait défini l'Homme comme le seul « animal raisonnable », situé tout en haut de l'échelle animale, doté d'âme sensitive comme les autres animaux, mais étant le seul à avoir aussi une « âme rationnelle » (Aristote, s. d., [III, 4-7]), capable de comprendre le monde par l'intellect et la raison. À cette dualité naturelle de l'Homme s'ajoute, vers la fin du IVe siècle, une autre idée fondamentale, celle d'une propension au mal intrinsèque à l'espèce humaine. Saint Augustin[19] a nommé cela « le péché originel », inhérent à tous les humains du fait de l'origine commune remontant au couple Adam et Eve, expulsé du jardin d'Eden pour leur péché. Le concept de péché originel est si profondément enraciné dans notre culture qu'on le retrouve, évoqué métaphoriquement, chez beaucoup de penseurs qui ne se réclament nullement de l'Église. Aussi, on peut le deviner comme inspirant, ne fût-ce que subconsciemment, les divers aveux de culpabilité collective qui taraudent la conscience de l'homme occidental (Fedi, 2004).

Christian de Duve, dans son bestseller *Génétique du Péché Originel*, a exprimé clairement l'évidence que la science moderne a réfuté le récit biblique des origines du genre humain, sans pour autant avoir invalidé l'intuition qui l'a inspiré (de Duve, 2008 ; Ruidant, 2014). Dans ce livre magistral, après un exposé limpide de toute l'histoire de la vie, depuis les premières molécules prébiotiques jusqu'à l'homme moderne, le grand savant (Prix Nobel de médecine et physiologie, 1974) et sage penseur avait conclu que l'avenir de l'humanité et même la vie sur Terre sont menacés à assez brève échéance par notre nature animale, façonnée par la sélection naturelle. Parce que celle-ci nous a optimisés pour la survie immédiate en privilégiant les traits génétiques utiles aux hu-

19. Pour une présentation synthétique, voir par exemple : *Saint Augustine* (Stanford Encyclopedia of Philosophy, Summer 2020 Edition).

mains pendant l'énorme durée de temps pendant laquelle ils étaient très peu nombreux et astreints à la précarité, dans un milieu souvent dangereux. Cependant, les mêmes traits sont devenus néfastes pour l'humanité dont le nombre d'individus a quadruplé en un seul siècle et dont la surconsommation devient quasi-asphyxiante pour la planète. Comme seul remède possible, de Duve avait considéré une vraie prise de pouvoir sur nos comportements d'animaux par notre conscience exclusivement humaine, le produit unique de notre cortex cérébral dont les capacités nous ont permis de dominer la Terre. Une décennie plus tard, S. Bohler ne pourra envisager, dans *Le bug humain*, que le même remède, tout en se montrant aussi dubitatif que son illustre prédécesseur sur sa réussite.

Pour le sujet de cet article, il est significatif de remarquer que de Duve, dans le bestseller cité, ainsi que dans un bref essai ultérieur (de Duve, 2011, p. 49), pointe le surpeuplement comme cause primordiale du danger que les humains font peser sur l'avenir de la vie. Il va de soi que la Terre ne peut supporter indéfiniment la surconsommation en tout genre, inévitable pour l'humanité en croissance continue rapide. En fait, l'altération de la planète par l'Homme est déjà tellement profonde que la Sous-commission pour la stratigraphie du quaternaire de l'Union internationale des sciences géologiques a décidé, en mai 2019, de proposer la désignation d'une nouvelle époque géologique, l'Anthropocène, commençant au milieu du XXe siècle, quand « la population humaine en croissance rapide a accéléré le rythme des diverses activités humaines, incluant la production industrielle et l'utilisation des produits chimiques dans l'agriculture » (Subcommission on Quaternary Stratigraphy, 2019, s. p.).

Un autre savant de la plus grande envergure scientifique et rectitude morale, l'éthologue Konrad Lorenz (Prix Nobel de médecine et physiologie, 1973), dans un petit livre de réflexions bien renommé, avait placé la surpopulation en tant que premier des « huit péchés capitaux » qui mettent en péril l'humanité (Lorenz, 1973, p. 17). Tout comme chez de Duve, le syntagme à relent ecclésiastique dans le titre de ce livre reflète simplement le fond culturel européen de l'auteur, sans aucune posture sacerdotale. D'ailleurs, Lorenz dit ouvertement, dans la préface (p. 5), que « l'humanité actuelle court de nombreux dangers, que le naturaliste et le biologiste en premier lieu sont seuls à apercevoir… ; il est donc du devoir du savant de tirer la sonnette d'alarme… ».

Pourtant, seulement quelques décennies auparavant, l'heure n'apparaissait pas comme étant à l'alarme, mais plutôt à l'émerveillement. En 1955, le texte intégral de l'essai *Le phénomène humain* (Teilhard de Chardin, 1955) est paru posthume, pendant l'année du décès de l'auteur. Car le Père Teilhard

de Chardin, membre loyal de la Compagnie de Jésus, n'a pas voulu faire paraître lui-même son chef-d'œuvre sans la permission du Vatican, qui lui avait interdit de publier et d'enseigner des sujets à portée philosophique. L'éminent paléontologue et philosophe que fut Teilhard de Chardin était un évolutionniste convaincu, y compris concernant l'origine de l'homme par un processus d'hominisation des primates, en contradiction avec l'acceptation littérale du texte de la Genèse. Et, dans *Le phénomène humain*, il a poussé avec cohérence jusqu'au bout sa pensée évolutionniste. Toute l'histoire de l'Univers, depuis la prévie jusqu'à l'apparition de la vie et puis jusqu'à la naissance de la pensée chez l'homme, est vue par Teilhard de Chardin comme une « montée vers la Conscience », qui ne s'arrête pas au niveau de l'individu, mais avance avec le déploiement de la Noosphère[20] et va culminer dans une « Conscience suprême », car « c'est uniquement vers une hyperpersonnalisation que la Pensée peut s'extrapoler » (Teilhard de Chardin, 1955, pp. 258-265). Par-delà les bas et les hauts de sa réception par l'Église (Capelle-Dumont & Euvé, 2016) et les critiques virulentes de certains scientifiques éminents (dont l'athéisme était révulsé par le christianisme profond de son auteur), *Le phénomène humain* reste indéniablement une œuvre majeure, de large audience.

Sans avoir ni la compétence ni l'objectif d'exprimer un quelconque jugement personnel sur la plausibilité du scénario d'avenir peint dans cet essai, je l'évoque ici seulement pour illustrer qu'avant la sixième décennie du siècle passé, un grand scientifique naturaliste — ce que Teilhard de Chardin fut incontestablement — n'éprouvait pas le besoin de « tirer une sonnette d'alarme » pour l'humanité, ce qui deviendra impérieux quelques décennies plus tard. Cela, malgré le fait que *Le phénomène humain* avait été écrit pendant une des plus sombres périodes de l'histoire de l'humanité[21]. Il est donc naturel de se demander : quel trait essentiel du monde aurait changé entre la quatrième et la huitième décennie du siècle passé, qui avait fait que le focus de la perception de l'humain vire du « phénomène » au « bug » ? La réponse à cette question, on la trouve dans les écrits des mêmes biologistes chez lesquels l'émerveillement a laissé place à l'angoisse : c'est la surpopulation humaine, en passe de devenir suffocante pour la Terre.

20. La Noosphère — la sphère de la pensée humaine — a été conçue par le géochimiste russo-ukrainien Vladimir Vernadsky comme une troisième phase du développement de la Terre, après la géosphère (inanimée) et la biosphère (vivante).
21. Teilhard de Chardin avait publié un article avec le même titre dans la *Revue des Questions Scientifiques* du 20 novembre 1930 (vol. 98, fasc. 3, pp. 390–406). D'autre part, à la dernière page du livre publié en 1955 est inscrite la date du 28 octobre 1948. Il s'ensuit que l'essai avait été élaboré de 1930 à 1948.

6.4. La bombe qui n'a pas (encore) explosé

Dans les années 1930-1948, quand Teilhard de Chardin concevait sa vision du « phénomène » humain, sur la Terre vivaient entre 2 et 2,5 milliards d'humains. Puis, quand Lorenz notait les « péchés capitaux » de l'humanité (en 1973), la même planète avait à la charge une population humaine presque double et, en 2011, quand de Duve expliquait le « péché originel », presque triple. Enfin, à la date de parution du livre de Bohler sur le « bug » humain, coïncidant avec le début de la Covid-19, la population mondiale frôlait les 8 milliards[22].

Le sujet complexe et sensible d'une hypothétique « bombe démographique » alimente des débats soutenus, engendrés il y a un demi-siècle par la parution d'un livre du biologiste américain Paul Ehrlich (1968), qui annonçait une proche famine massive, due à la croissance de la population mondiale. Ce livre a eu un énorme succès de vente, mais, heureusement, la catastrophe prévue, de la mort par manque de nourriture de plusieurs centaines de millions de gens dans la décennie 1970, ne s'est aucunement produite. En effet, grâce largement à la « Révolution verte »[23] d'intensification massive de la production agricole dans les pays en développement, la Terre nourrit actuellement mieux une population mondiale beaucoup plus nombreuse qu'à la parution du livre apocalyptique d'Ehrlich.

Pourtant, si la « bombe de la population » n'a pas explosé directement, le manque mortel de nourriture prédit par Ehrlich en 1968 étant évité, la même Révolution verte, qui a rendu possible la croissance sans précédent de la population mondiale, a causé toute une série de nuisances gravissimes. Celles-ci vont de la perte irréparable d'agrobiodiversité à la pollution massive des terres et des cours d'eau par tous les produits chimiques utilisés (dont certains sont ouvertement nocifs pour la santé), à la dégradation des sols, à l'eutrophisation des

22. Des chiffres détaillés et des graphiques concernant l'évolution de la démographie mondiale se trouvent dans les publications de la Division de Population des Nations Unies (World Population Prospects - Population Division - United Nations), en particulier dans : *UN Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019) World Population Prospects 2019: Highlights* (World Population Prospects 2019 Highlights (un.org)).
23. La Révolution verte consiste en l'utilisation des variétés de plantes à haut rendement, y compris des organismes génétiquement modifiés, des engrais et des produits phytosanitaires, ainsi que l'irrigation et la mécanisation de l'agriculture. L'artisan scientifique principal de la Révolution verte, l'agronome américain Norman Borlaug a reçu en 1970 le Prix Nobel de la Paix.

eaux de surface (due à l'écoulement des engrais) et à la destruction des nappes phréatiques par salinisation et épuisement. S'ajoutent, aussi, un énorme exode rural et l'apparition des immenses bidonvilles insalubres dans les pays en développement, ainsi que des mégalopoles gigantesques où l'air est trop souvent irrespirable, même dans les pays prospères. Presque un demi-siècle après la parution du livre prédisant une « *population bomb* », Paul Ehrlich et son épouse continuent à soutenir qu'attirer l'attention sur le péril du facteur démographique est encore plus important de nos jours (Ehrlich & Ehrlich, 2009), car les dérèglements de l'environnement qui ont déterminé dans le passé l'effondrement de nombreuses civilisations locales (comme le Maya classique, celle de l'Île de Pâques, etc.), peuvent maintenant provoquer un effondrement global (Ehrlich & Ehrlich, 2013).

Des réalités angoissantes comme la déforestation massive, l'extinction accélérée des espèces, y compris l'épuisement des ressources piscicoles marines, la pollution des océans par les plastiques et le rejet massif de gaz à effet de serre sont beaucoup discutées, mais peu contrecarrées. Elles sont les différents aspects du « bug » de l'humanité actuelle et, si on pousse jusqu'au bout la recherche de leurs causes, on ne peut pas éviter de voir qu'elles sont toujours des conséquences de la surpopulation humaine. C'est aussi le cas des pandémies, qui partent des zones densément peuplées et sévissent surtout dans les agglomérations urbaines.

7. Conclusion

La pandémie de Covid-19, une épreuve dure et douloureuse pour l'entièreté de l'humanité contemporaine, est inouïe seulement pour les générations vivant actuellement, car de tels fléaux ont sévi à répétition pendant l'histoire. Cette pandémie interpelle spécialement les habitants des pays occidentaux, qui se croyaient à l'abri de ce genre de calamités. La rapidité réellement inouïe de propagation globale de la Covid-19 est une conséquence tout à fait explicable, bien qu'inattendue, de la mondialisation. Celle-ci a une ampleur excessive, qui découle principalement de l'appât du profit immédiat par délocalisation industrielle, une tentation qui a obsédé les pays occidentaux jusqu'à un point tel qu'ils se retrouvent en danger de dépendre d'un régime non démocratique et à visée hégémonique, comme celui de la Chine. La réalité de ce danger a été amèrement révélée par la pandémie actuelle.

Mais, d'autre part, cette pandémie a mis en évidence l'unicité de l'humanité, nous rappelant que le biologique transcende les différences culturelles et

économiques. Cette unicité va de pair avec la singularité de l'Humain, perçue à la fois comme une prééminence par rapport aux animaux, mais aussi comme le fardeau d'un « péché originel ». Cette célèbre vieille métaphore de la propension au mal intrinsèque à l'espèce humaine a été traduite par la science du dernier siècle en crainte du conflit entre l'énorme capacité inventive de l'intelligence humaine, conférée par notre néocortex massif et hypercomplexe, et sa dépendance du comportement émotionnel, régi par des structures cérébrales sous-corticales, adaptées à poursuivre seulement les objectifs primaires de survie individuelle à brève échéance.

Remerciements

L'auteur exprime ses vifs remerciements au Dr. Pierre Wins (Université de Liège) pour la lecture critique attentive du manuscrit et des suggestions bien pertinentes.

Bibliographie

Aberth, J. (2005). *The Black Death : The Great Mortality of 1348-1350 : A Brief History with Documents*. New York : Palgrave Macmillan.

Aristote (s. d.). *On the Soul* (traduction en anglais de J. A. Smith). Récupérée de http://classics.mit.edu//Aristotle/soul.html

Bohler, S. (2019). *Le bug humain : pourquoi notre cerveau nous pousse à détruire la planète et comment l'en empêcher*. Paris : Robert Laffont.

Boniface, P. (2020). *Géopolitique du Covid-19 : ce que nous révèle la crise du coronavirus*. Paris : Eyrolles.

Capelle-Dumont, Ph., & Euvé, F., (édit.) (2016). *Pierre Teilhard de Chardin face à ses contradicteurs*. Paris : Parole et Silence.

Cesario, J., Johnson, D. J. & Eisthen, H. L. (2020). Your brain is not an onion with a tiny reptile inside. *Current Directions in Psychological Science*, 29(3), 255-260.

de Duve, C. (2008). *Génétique du péché originel : le poids du passé sur l'avenir de la vie*. Paris : Odile Jacob.

de Duve, C. (2011). *De Jésus à Jésus... en passant par Darwin*. Paris : Odile Jacob.

de Pracontal, M. (2005). *L'imposture scientifique en dix leçons*. Paris : Seuil.

Diamond, J. (2000). *De l'inégalité parmi les sociétés : essai sur l'homme et l'environnement dans l'histoire*. Paris : Gallimard.

Dortier, J.-F. (2011). Le mythe des trois cerveaux. *Sciences Humaines* (hors-série spécial « Le Cerveau »), (14), 14-17. Récupéré de https://www.scienceshumaines.com/le-mythe-des-trois-cerveaux_fr_27945.html

Dourmashkin, R.R., Dunn, G., Castano, V., & McCall, S.A. (2012). Evidence for an enterovirus as the cause of encephalitis lethargica. *BMC Infectious Diseases*, 12, 136. Récupéré de https://doi.org/10.1186/1471-2334-12-136

Duby, G. (2020). *Sur les traces de nos peurs* (2e édit.). Paris : Textuel.

Ehrlich, P. (1968). *The Population Bomb*. New York : Ballantine Books.

Ehrlich, P. R., & Ehrlich, A. H. (2009). The Population Bomb Revisited. *The Electronic Journal of Sustainable Development*, 1(3). Récupéré de Population-Bomb-Revisited-Paul-Ehrlich-20096.pdf (populationmedia.org)

Ehrlich, P. R., & Ehrlich, A. H. (2013). Can a collapse of global civilization be avoided ? *Proceedings of the Royal Society of London. Series B*, 280: 20122845. Récupéré de http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2012.2845

Fedi, L. (2004) L'humain en philosophie : la parenthèse de la culpabilité. *Le Philosophoire*, 2(23), 134-148. Récupéré de https://www.cairn.info/revue-le-philosophoire-2004-2-page-134.htm

Koestler, A. (1967). *The ghost in the machine*. London: Hutchinson.

Lorenz, K. (1973). *Les huit péchés capitaux de l'humanité civilisée*. Paris : Flammarion.

MacLean, P. D. (1955a). The limbic system (« visceral brain ») and emotional behavior. *A.M.A. Archives of Neurology and Psychiatry*, 73(2), 130-134.

MacLean, P. D. (1955a). The limbic system (« visceral brain ») in relation to central gray and reticulum of the brain stem; evidence of interdependence in emotional processes. *Psychosomatic Medicine*, 17(5), 355-366.

Ruidant, L. (2014). Génétique du péché originel : de Duve en appelle à un sursaut de sagesse. *Revue des Questions Scientifiques*, 185(2-3), 215-220.

Slavin, Ph. (2019). Death by the lake: mortality crisis in the early fourteenth-century Central Asia. *Journal of Interdisciplinary History*, 50(1), 59-90. Récupéré de https://doi.org/10.1162/jinh_a_01376

Subcommission on Quaternary Stratigraphy (2019). *What is the Anthropocene ? – Current Definition and Status*. Récupéré de : Working Group on the 'Anthropocene', Subcommission on Quaternary Stratigraphy

Teilhard de Chardin, P. (1955). *Le phénomène humain*. Paris : Éditions du Seuil.

Thucydides (s. d.). *History of the Peloponnesian War*. Récupéré de https://documentacatholicaomnia.eu/03d/-460-400,_Thucydites,_History_Of_The_Peloponnesian_War,_EN.pdf

Williams, R. M. (2014). *Dual Threat: The Spanish Influenza and World War I* (Honors Thesis Projects). University of Tennessee. Knoxville. Récupéré de https://trace.tennessee.edu/utk_chanhonoproj/1742

Revue des Questions Scientifiques, 2021, 192 (1-2) : 137-183

Propriété intellectuelle, soutenabilité et biens communs à l'ère de la crise écologique globale et de la COVID-19

(1re partie)

Valérie Tilman
Docteur en philosophie
valerie.tilman.blanco@gmail.com

Résumé. – La section deux de cet article reprend l'analyse de certaines controverses philosophiques liées à la propriété intellectuelle et expose, à titre d'illustration, les impacts préjudiciables de certains droits de propriété intellectuelle sur la biodiversité agricole.
La section trois suggère que les droits de propriété intellectuelle semblent avoir aussi des impacts non négligeables dans le cadre de la crise sanitaire liée à la COVID-19 et que les aménagements aux régimes de protection de la propriété intellectuelle officiellement discutés par les États et les institutions internationales pour faire face à cette crise semblent rencontrer des limites. Cette seconde section devra être approfondie dans le cadre de recherches ultérieures pour en confirmer les observations, mais l'urgence de la situation et les implications de ces observations si elles venaient à être confirmées justifient qu'elles soient déjà exposées et soumises au débat.
La réalité des freins occasionnés par certains droits de propriété intellectuelle pourrait donc être généralisée aux secteurs de l'agriculture et de la santé, secteurs concernés par des innovations d'importance vitale. Dans cette optique, les conclusions de cet article plaideront en faveur de la nécessité d'un savoir ouvert et d'une remise en question des régimes de protection de la propriété intellectuelle dans certains domaines du savoir.

Abstract. – The section two of this article reviews various philosophical controversies concerning intellectual property and exposes, by way of illustration, the detrimental impact of certain intellectual property rights on agricultural biodiversity.
The section three introduces the idea that international property rights also appear to have had a considerable impact on the COVID-19 health crisis, and

that, in response to this crisis, any proposed adjustments to the intellectual property protection systems in place, which were the subject of official talks between international States and institutions, seem to have enjoyed rather limited success. This second section will need to be developed in greater detail pending further investigation in order to confirm the observations herein, but the urgency of the situation and the implications of these observations, should they be confirmed, warrant that they be put up for debate forthwith.
As it stands, the sectors that are particularly hampered by certain intellectual property laws can thus be generalised to those of health and agriculture, which both address innovations that are of vital importance. With this in mind, the conclusions reached in this article point to the necessity for increased knowledge sharing and to the fact that current intellectual property protection systems need reworking for certain fields of expertise.

Mots-clés. – Autonomie alimentaire — Brevet — Covid-19 — Propriété intellectuelle — Variétés végétales

Table des matières

1. Introduction
2. Synthèse d'une recherche personnelle antérieure
   2.1. Contexte de la recherche
   2.2. Objectifs de la recherche
   2.3. Résultats de la recherche
      2.3.1. Approche philosophique
      2.3.2. Étude de cas sur l'appropriation de la biodiversité agricole
      2.3.3. Recommandations politiques
3. Les impacts des droits de propriété intellectuelle dans le cadre de la crise sanitaire liée à la covid-19 : premiers constats et hypothèses
   3.1. Le projet d'assouplissement du droit de la propriété intellectuelle
   3.2. Le projet de développement des communs
   3.3. Analyses actuelles révélatrices d'un contexte peu favorable aux deux projets précédents
      3.3.1. La position de l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle
      3.3.2. La position de l'Organisation mondiale du commerce
      3.3.3. La position de l'Union européenne
      3.3.4. La société civile
      3.3.5. Analyses de certaines stratégies des firmes pharmaceutiques au cours de la dernière décennie
4. Conclusions
5. Bibliographie

Acronymes principaux

ADPIC : Accord de l'OMC sur les droits de propriété intellectuelle liés au commerce

CDB : Convention sur la diversité biologique

CGIAR : Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale

DPI/IPR : droits de propriété intellectuelle

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

OMC : Organisation mondiale du commerce

OMPI : Organisation mondiale de la propriété intellectuelle

PI/IP : propriété intellectuelle

1. Introduction

En juin 2016, j'achevais une recherche doctorale intitulée *Propriété intellectuelle, soutenabilité et biens communs* (Tilman, 2016)[1]. Aujourd'hui, je souhaiterais revenir sur les conclusions de cette recherche afin de suggérer la proximité entre l'esprit de ces conclusions et certaines analyses faites ces derniers mois dans le contexte de la crise sanitaire liée à la COVID-19.

Dans une première partie, je reprendrai l'analyse de certaines controverses philosophiques liées à la propriété intellectuelle et je rappellerai, à titre d'illustration, les impacts préjudiciables de certains droits de propriété intellectuelle sur la biodiversité agricole. Cette première partie est une synthèse de ma recherche doctorale.

Dans une seconde partie, je suggérerai que les droits de propriété intellectuelle semblent avoir aussi des impacts non négligeables dans le cadre de la crise sanitaire liée à la COVID-19 et que les aménagements aux régimes de protection de la propriété intellectuelle officiellement discutés par les États et les institutions internationales pour faire face à cette crise semblent rencontrer des limites. Cette seconde partie devra être approfondie dans le cadre de recherches ultérieures pour en confirmer les observations, mais l'urgence de la situation et les implications de ces observations si elles venaient à être confirmées justifient qu'elles soient déjà exposées et soumises au débat.

La réalité des freins occasionnés par certains droits de propriété intellectuelle pourrait donc être généralisée aux secteurs de l'agriculture et de la santé, secteurs concernés par des innovations d'importance vitale. Dans cette optique, les conclusions de cet article plaideront en faveur de la nécessité d'un savoir ouvert et d'une remise en question de la protection de la propriété intellectuelle dans certains domaines du savoir.

1. Cette recherche ne porte que sur certains domaines de la propriété intellectuelle, essentiellement les brevets, les droits d'obtention végétale et la protection des savoirs traditionnels. Elle date par ailleurs de 2016 et n'a pas été actualisée à ce jour au niveau des dispositions juridiques analysées, mais ses conclusions générales restent largement d'actualité. À l'exception de quelques références, la bibliographie de cette recherche n'est pas reprise ici, mais peut être utilement consultée dans le document original (Tilman, 2016).

2. Synthèse d'une recherche personnelle antérieure

2.1. Contexte de la recherche

De l'avis d'un grand nombre de critiques, parmi lesquels des spécialistes du droit de la propriété intellectuelle[2], la légitimité d'un certain nombre de droits de propriété intellectuelle serait discutable[3]. Ainsi, de nombreux brevets seraient à la limite (Vivant, 2007, pp. 28-49), voire en dehors des critères de brevetabilité (Dussolier, 2008, p. 7). Beaucoup ne seraient pas d'une qualité optimale (Lallement, 2007, p. 4). La description de l'invention protégée, publiée, ne permettrait pas toujours la reproduction du processus ou du produit breveté, même pour un homme de métier. De nombreuses revendications seraient excessivement larges. Les redevances de licences seraient inaccessibles pour un certain nombre d'acteurs de la recherche, incapables également d'assurer les coûts de dépôt de brevet, la surveillance des infractions, les nombreux litiges. Le recours aux licences obligatoires serait rendu malaisé en raison d'obstacles politiques et administratifs. Les normes de protection de la propriété intellectuelle imposées par l'ADPIC (Accord de l'OMC sur les droits de propriété intellectuelle), fort élevées si on les compare aux normes antérieures de certains pays, seraient, dans certains cas, inadéquates par rapport à leur niveau de développement économique. Les brevets portant sur les innovations cumulatives ou complémentaires provoqueraient des freins à l'innovation. Le nombre excessif de brevets portant sur une même invention générerait des effets anticoncurrentiels injustifiés. Les brevets défensifs rendraient nécessaires des contournements technologiques et bloqueraient même des solutions alternatives. Certaines stratégies industrielles conduiraient à retarder l'introduction de médicaments génériques pour prolonger le plus possible la période d'exclusivité des produits protégés sur le marché (OCDE, 2010, p. 196). La question de l'accès à certains médicaments essentiels, celle des savoirs traditionnels qui échappent à la propriété intellectuelle, celle du domaine public qui tend à s'amenuiser, la concentration de certains secteurs industriels, la consolidation de la propriété intellectuelle liée aux biotechnologies aux mains d'un petit nombre de grosses entreprises et le rôle des brevets dans l'orientation des recherches, y compris dans le secteur public et académique, susciteraient des inquiétudes croissantes. Au sein des bureaux de brevets, une surcharge de tra-

2. Par exemple Buydens, 2012, pp. 408-421.
3. Il semble exister un certain consensus sur ce point, puisque même Wikipédia à l'article « propriété intellectuelle » en fait état.

vail, l'absence de familiarité avec des technologies nouvelles et les recherches d'antériorité défectueuses que cette situation occasionne[4], une rémunération perçue, dans certains cas, en fonction du nombre de brevets acceptés et une subordination de ces organismes aux intérêts des innovateurs seraient à l'origine d'un problème de qualité dans la délivrance des brevets[5]. Aucune étude macroéconomique n'aurait par ailleurs démontré l'efficacité générale du brevet sur l'innovation (même si certaines innovations sont bel et bien induites par la propriété intellectuelle) ou, du moins, démontré qu'il fût toujours efficace (Vivant, 2005, p. 2)[6]. Enfin, le dépôt de matériels biologiques dans les demandes de brevets biotechnologiques démontrant l'incapacité des scientifiques à décrire les phénomènes vivants au moyen d'une suite de relations causales simples (alors que la description de l'invention constitue un des principes fondamentaux du système des brevets), le constat fréquent selon lequel la principale raison d'être des brevets industriels semble résider davantage aujourd'hui dans la protection des investissements que dans la défense des intérêts des créateurs, et les limites à la recherche, à la liberté individuelle, à la liberté d'expression et à la liberté de se former, quelquefois difficiles à justifier, qu'occasionne la propriété intellectuelle suggèrent qu'un changement de paradigme devrait s'imposer (Galloux, 1991).

Certaines analyses sont encore plus sévères. M.-A. Gagnon (2008, 2010), par exemple, constate que la construction des normes de propriété intellectuelle découle, depuis la fin du XIXe siècle, d'intérêts privés. Il dénonce le capitalisme corporatif des organisations dont les profits dépendent avant tout de leurs capacités monopolistiques et de leur capacité à instiguer de nouvelles règles juridiques afin de transformer les structures sociales. Cet auteur entend également montrer, à la suite d'autres chercheurs, que les brevets coûteraient, unitairement, davantage qu'ils ne rapportent. Le paradoxe ne serait qu'apparent : les brevets seraient essentiellement des barrières à l'entrée destinées à éliminer la concurrence, et non des incitants à l'innovation.

4. La technique étant toujours plus complexe, le système des brevets est condamné à ne pas être performant. Certaines rédactions de brevets comportent plusieurs milliers de pages et sont proprement illisibles (Vivant, 2007, pp. 33-34).
5. Cette analyse est confirmée par Encouaca, 2012, p. 7.
6. L'article précédent de D. Encouaca (2012, pp. 3-4) consacré à cette question montre effectivement que les études empiriques cherchant à établir un lien formel entre le brevet et l'innovation ne parviennent pas à des conclusions tranchées. Un article de P. Belleflamme (2008, pp. 214-215) sur ce même thème confirme également qu'il n'y a pas de consensus sur l'efficacité du brevet, et rappelle que Machlup et Penrose (1950, pp. 1-29), des auteurs de référence, étaient déjà parvenus à cette conclusion en 1951.

Ces observations et les problématiques mises en évidence dans cet article et dans la thèse (dont la deuxième section de cet article est un résumé) font du droit de propriété intellectuelle un objet de polémiques autour de l'idée selon laquelle, à travers la « réservation de l'information technique » et les obstacles à l'accès à des technologies quelquefois essentielles, la finalité sociale des droits de propriété intellectuelle ne serait pas toujours concrètement réalisée.

2.2. Objectifs de la recherche

C'est par rapport à la notion de *soutenabilité*, définie comme mode(s) d'organisation sociale solidaire, en accord avec un environnement viable (ou compatible avec la biosphère), soucieuse de l'autonomie des individus, des communautés et des États et de la cohésion sociale, que j'ai entrepris d'évaluer les justifications philosophiques et économiques de la propriété intellectuelle et, à titre d'illustration concrète de cette problématique, les impacts sur la biodiversité agricole des pratiques de protection de la propriété intellectuelle.

Mes conclusions, au terme de cette recherche, sont que les justifications philosophiques et économiques de la propriété intellectuelle sont plus que discutables, que certaines pratiques de propriété intellectuelle sont préjudiciables à la biodiversité agricole et que des changements juridiques, politiques et culturels sont nécessaires et urgents pour remédier à ces effets préjudiciables.

2.3. Résultats de la recherche

2.3.1. Approche philosophique

Sur le plan historique, cette recherche a rappelé ou mis en évidence plusieurs choses :

1. la filiation historique, tant dans le domaine technique que littéraire, entre la propriété intellectuelle et les privilèges (certains privilèges existaient déjà dans l'Antiquité, mais cette pratique s'est surtout développée au Moyen Âge, puis à la Renaissance) ;
2. la parenté entre les critiques passées vis-à-vis des monopoles et des privilèges et certaines critiques contemporaines à l'égard de la propriété intellectuelle (au nom, par exemple, de la liberté, de la concurrence, de l'impact sur les prix) ;
3. l'émergence tardive, liée au contexte historique et culturel, de l'idée d'une propriété sur les fruits de son travail à la fin du XVIIe siècle ;

4. l'émergence encore plus tardive, liée également au contexte historique et culturel, de l'idée d'un droit de propriété naturel ou d'un droit moral naturel de l'auteur sur son œuvre au XVIIIe siècle ;

5. le fait que ces idées sont intrinsèquement liées à la modernité occidentale (elles n'existaient pas, ou de façon très embryonnaire, dans les sociétés prémodernes) ;

6. l'existence de critiques vis-à-vis des monopoles et des privilèges depuis l'Antiquité, et l'existence de mouvements visant à contester ou à limiter la propriété intellectuelle dès son établissement (ces mouvements revendiquant le plus souvent l'intérêt général à la diffusion du savoir, les entraves au libre-échange et les impacts sur les prix) ;

7. l'établissement de régimes de privilèges fort proches des régimes de brevets actuels au XVe siècle à Venise, au XVIIe siècle en Angleterre et au XVIIIe siècle en France et aux États-Unis, et celui des premiers régimes de droit d'auteur dans ces trois pays au XVIIIe siècle ;

8. l'imbrication de justifications utilitaristes (intérêt de la nation, intérêt de la société) et de justifications iusnaturalistes (qui relèvent du droit naturel) de la propriété intellectuelle : idée d'un droit de propriété naturel de l'inventeur sur son invention, idée d'un droit moral de l'auteur sur son œuvre, avec des variations dans l'importance accordée à l'une ou l'autre de ces justifications selon les pays et les époques ;

9. le développement de régimes de propriété intellectuelle au fur et à mesure du développement des nations entre le XVIIIe et le XXIe siècle ;

10. l'apparition, dès le XIXe siècle, avec le développement des échanges internationaux, d'un processus d'internationalisation des régimes de propriété intellectuelle pour éviter les problèmes causés par des régimes nationaux différents (c'est à dire pour éviter les brevets non valables à l'étranger et dès lors la copie en toute légalité). Ce processus de renforcement et d'harmonisation internationale de la propriété intellectuelle est toujours en cours : il s'exerce sous le coup de pressions politiques et économiques via des traités internationaux ou des traités bilatéraux et ne correspond pas toujours aux besoins de tous les États impliqués ;

11. l'élargissement (souvent controversé) et le renforcement, à la fin du XXe siècle, de la protection conférée par les droits de propriété intellectuelle à de nouveaux objets (médicaments, logiciels, bases de données, matière biologique ...).

L'histoire de la propriété intellectuelle montre que, si, à certains moments (au XVIIIe siècle), l'intérêt général et l'utilité sociale furent au cœur de la réflexion autour de la construction du droit de la propriété intellectuelle, à d'autres moments, ce sont des intérêts privés, assimilés à l'intérêt général, qui ont présidé à leur développement. Depuis la fin du XIXe siècle, notamment, de puissants intérêts nationaux et privés ont orienté la construction des normes nationales et internationales en matière de propriété intellectuelle. Ceci est particulièrement manifeste dans les domaines pharmaceutique, biotechnologique et phytogénétique (c'est-à-dire dans le domaine des ressources génétiques végétales).

Cet historique et les critiques évoquées plus haut invitent à émettre des doutes quant au caractère indiscutable et systématique de l'utilité sociale de la propriété intellectuelle. Ce sont ces doutes qui m'ont conduite à étudier les justifications philosophiques et économiques de la propriété intellectuelle et à examiner les pratiques de propriété intellectuelle dans le domaine de la biodiversité agricole.

Sur le plan philosophique, cette recherche a montré que de nombreux philosophes ont contribué à justifier la propriété intellectuelle :

1. John Locke (Locke, 1690), au XVIIe siècle, a défendu l'idée d'un droit de propriété naturel de l'individu sur les fruits de son travail. Cette idée a été largement adaptée à la propriété intellectuelle, tant dans le domaine du brevet que du droit d'auteur. Cette idée fonde la vision du monde (et de la propriété intellectuelle) de nombreux libertariens contemporains (par ex. Nozick, 1974) ;

2. Diderot (1763), Kant (Kant, Benoist, 1995), Fichte (Kant, Benoist, 1995) ont fait émerger l'idée d'un droit moral de l'auteur sur son œuvre ; Hegel (1820) a distingué le droit moral inaliénable de l'auteur sur son œuvre et le droit marchand qui peut être cédé à un tiers ;

3. l'utilitarisme, à travers l'argument de l'intérêt de la nation ou celui de l'utilité et du bien collectif (représenté notamment par Adam Smith ou John Stuart Mill) a également été utilisé pour justifier la propriété intellectuelle.

Néanmoins, si on étudie ces différents auteurs et mouvements plus en profondeur, on constate que Locke tenait à ce qu'un domaine public soit préservé, que Diderot et Kant avaient pour objectif final la diffusion des livres et du savoir, qu'Adam Smith (1776), Stuart Mill (1859 et 1864) et l'utilitarisme an-

glais du XIXe siècle, qui condamnaient les monopoles en accord avec la théorie du libre-échange dans l'optique de l'intérêt général, ne toléraient les brevets que démonstration faite de leur utilité collective.

Cette recherche a également montré que d'autres philosophes ont contribué à alimenter les positions critiques à l'égard de la propriété intellectuelle :

1. Proudhon (1847) a condamné la propriété littéraire au nom de l'intérêt public à la diffusion du savoir, et a condamné les privilèges et les monopoles au nom de la liberté et de l'impact sur les prix et sur l'activité économique (1832, 1840 et 1866) ;
2. Condorcet (1847) a développé une critique de la propriété et de la propriété intellectuelle d'un grand intérêt.

Concernant la propriété intellectuelle, ses arguments sont les suivants :

- les créateurs ont droit à une rémunération, mais les droits des créateurs ne sont pas des droits de propriété ;
- en effet, l'argument du talent comme fondement de la propriété intellectuelle n'est pas valable : l'individu reçoit ses capacités de la société ;
- pour les auteurs/inventeurs qui sont déjà rémunérés (professeurs, fonctionnaires), la propriété intellectuelle constitue une double rémunération, ce qui est contraire à l'économie et à la justice ;
- les buts de la littérature ou de la création sont la vérité, le beau, l'utilité sociale ou l'éducation : ouvrir l'œuvre à la marchandisation conduit à une littérature/un art de servilité ;
- un chef-d'œuvre ne se fabrique pas sur commande suite à un fort incitant financier.

Concernant la propriété, ses arguments sont les suivants :

- la propriété est classiquement justifiée par les arguments du talent, du travail ou de l'occupation ;
- l'argument du talent n'est pas valable puisque l'individu est débiteur de la société ;
- l'argument du travail n'est pas valable, sinon tous les prolétaires devraient être propriétaires des fruits de leur travail ;

- l'argument de l'occupation (premier arrivé) n'est pas valable, car l'occupation devrait dépendre de l'évolution de la population, donc devrait évoluer continuellement : dans ce cas, l'occupation donne plutôt lieu à un droit d'usufruit qu'à un droit de propriété, et l'usufruit implique la responsabilité du bien et non le droit d'*abusus*.

3. Marx (1843, 1844, 1845, 1846, 1848, 1857 et 1867)[7] a initié une critique fameuse de la propriété qui peut être utilisée pour critiquer la propriété intellectuelle. Ses arguments sont les suivants :

   - il ne critique pas la propriété privée fruit de son travail (de toute façon détruite par le capital et le progrès de l'industrie), mais la propriété bourgeoise fondée sur le travail d'autrui ;
   - il dénonce une contradiction : le travail du prolétaire ne crée pas de propriété ;
   - il critique l'idée lockéenne de propriété de soi qui permet l'exploitation de l'homme par l'homme, tout en le laissant croire à sa liberté ;
   - il critique l'idée hégélienne selon laquelle la propriété repose sur la volonté libre et le droit d'appropriation sur toute chose ;
   - en réalité, selon lui, la propriété repose uniquement sur la force ;
   - il dénonce l'appropriation des moyens de production ;
   - il dénonce la marchandisation d'activités autrefois vénérables ;
   - selon lui, la production ne suppose pas la propriété privée : il existe aussi la propriété commune ou communale ;
   - selon l'analyse marxiste, ce sont les rapports de production qui sont à l'origine du développement de la propriété intellectuelle.

4. Par ailleurs, de nombreux auteurs contemporains revendiquent, dans l'intérêt général, la reconnaissance et la protection de biens collectifs ou communs qui ne seraient pas soumis à l'appropriation privative :

7. À ma connaissance, Marx n'aborde pas la problématique de la propriété intellectuelle en tant que telle ; néanmoins la propriété est au cœur de sa réflexion, et cette réflexion jette un éclairage intéressant sur notre problématique.

- dans cette optique, des figures comme Stallman (1985), Lessig (2004 et 2005) ou Boyle (Boyle, 2008) ont initié le mouvement du libre (*copyleft, CC, open source*) ;
- Ostrom (2010) a constaté l'existence de biens collectifs naturels gérés durablement par des communautés d'utilisateurs (*commons*)[8] ;
- à la suite d'Ostrom, des auteurs contemporains comme Coriat (2015) et Bollier (2014) revendiquent l'établissement et la protection de biens collectifs matériels et immatériels (communs informationnels) et de biens collectifs globaux (*global commons*) ;
- d'autres auteurs, comme S. Dussolier (2009), revendiquent la reconnaissance, l'élargissement et la protection légale du domaine public[9] immatériel ;
- les notions de *res communis*[10] et de patrimoine commun de l'humanité sont également mobilisées comme des alternatives possibles aux pratiques d'appropriation privative, notamment au moyen de droits de propriété intellectuelle.

Il résulte de l'analyse de ces différents auteurs et mouvements philosophiques (hâtivement résumée ici, mais longuement développée dans la recherche à laquelle se réfère ce résumé) que les justifications utilitaristes et propriétaristes de la propriété intellectuelle peuvent être mises en question. En effet, à l'exception de certains libertariens[11], la plupart des philosophes étudiés reconnaissent l'importance d'un domaine public ; or la propriété intellectuelle,

8. Les *commons* sont des ressources communes (locales) autogérées.
9. Le domaine public est l'ensemble des connaissances et des pratiques culturelles et scientifiques d'intérêt général, ainsi que le domaine du savoir accessible (qui n'est pas ou plus protégé par des droits de propriété intellectuelle).
10. La *res communis* est une « chose qui n'appartient à personne et dont l'usage est commun à tous. Des règles de police règlent la manière d'en jouir » (article 71 du Code civil). Le patrimoine commun de l'humanité est un bien dont l'usage est commun à tous, qui ne peut être approprié, doit être sauvegardé et géré rationnellement de façon à être conservé et transmis.
11. Pour Noam Chomsky, « la version américaine du libertarisme est une aberration — personne ne la prend vraiment au sérieux. Tout le monde sait qu'une société qui fonctionnerait selon ce principe s'autodétruirait en quelques secondes. [...] C'est un monde sans routes parce que vous ne voyez pas pourquoi vous devriez participer à une route que vous n'allez pas emprunter : si vous voulez une route, vous formez un groupe avec ceux qui veulent l'utiliser et vous la construisez, puis vous faites payer les gens qui y roulent. [...] un tel monde ne pourrait fonctionner une seconde et s'il le pouvait, tout ce que les gens souhaiteraient, c'est de s'en échapper ou de se suicider » (Chomsky, 2005, p. 174).

aujourd'hui, tend à réduire le domaine public, puisque de plus en plus d'objets peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle. Par ailleurs, l'argument propriétariste selon lequel l'individu est légitimement propriétaire de son invention ou de son œuvre repose sur le postulat lockéen, partagé par de nombreux libertariens contemporains, selon lequel l'individu est propriétaire de lui-même (étant propriétaire de lui-même, il serait propriétaire des fruits de son travail et des œuvres de sa création). Or de nombreux auteurs offrent des arguments permettant de contester l'idée de propriété de soi :

1. Kant (Kant, Benoist, 1995), Hegel (1820, § 47 et § 48), Freud (1940) et Nietzsche (1883, pp. 45-47) parlent d'identité entre la personne et son corps, et non de propriété de soi ;

2. Marx soutient que l'effet de l'idée d'une propriété de soi est de légitimer, au nom de la liberté et de l'égalité, l'exploitation de l'homme par l'homme ;

3. Proudhon montre que l'individu est débiteur de la société, qu'il n'y a pas de pure création, mais des découvertes, des agencements d'idées préexistantes, et que l'individualisme n'est pas de mise dans ce domaine ;

4. MacPherson (1962) critique lui aussi cet individualisme possessif selon lequel l'individu ne serait nullement redevable à la société de sa propre personne ou de ses capacités dont il serait par essence le propriétaire exclusif ;

5. Marx et Proudhon contestent également le second postulat sur lequel repose l'argument propriétariste, c'est-à-dire l'idée selon laquelle le travail serait le fondement de la propriété : ils constatent en effet que les prolétaires ne sont pas propriétaires des fruits de leur travail.

Enfin, le droit international révèle que ni la propriété ni la propriété intellectuelle ne sont unanimement reconnues comme des droits fondamentaux intouchables : le droit de propriété peut en effet être régulé par les États de manière à s'ajuster aux circonstances économiques et sociales ; le droit de propriété intellectuelle, pour sa part, est limité par le droit d'accès au savoir.

Ces arguments mettent donc en question les justifications iusnaturalistes (relatives au droit naturel) et propriétaristes de la propriété intellectuelle. Ils n'empêchent évidemment pas la reconnaissance par le droit positif d'un droit moral de l'auteur sur son œuvre, ni la reconnaissance de la propriété intellectuelle comme mode de rémunération des auteurs ou des inventeurs, mais, en

vertu de cette démonstration, ni l'un ni l'autre ne peuvent être assimilés à des droits « naturels » intouchables.

Concernant la justification utilitariste de la propriété intellectuelle, il faut savoir que le critère utilitariste a été utilisé, par le passé comme de nos jours, tout autant pour condamner ou restreindre les privilèges, les monopoles et les pratiques de propriété intellectuelle que pour les promouvoir. Pour un utilitariste, en effet, c'est par rapport à l'utilité sociale, et plus précisément par rapport au bien collectif que la propriété intellectuelle, comme toute institution, doit être jugée. Se pose dès lors la question de la définition de l'intérêt collectif.

Sur le plan économique, cette recherche a montré qu'aujourd'hui, dans nos pays, l'intérêt collectif est largement identifié au développement de l'économie, au développement de l'innovation, à la sécurité des investissements, et c'est dans cette logique que la propriété intellectuelle est justifiée : elle est considérée par les théories économiques dominantes comme un incitant à l'innovation. Pourtant, de nombreuses études ont émis des objections par rapport à ce postulat. Notamment le fait que la création et l'invention résultent souvent d'autres motivations (cf. le succès de l'*open innovation*), mais aussi du hasard. Des études récentes en sciences de l'évolution montrent que la réciprocité sociale, la confiance et la coopération sont au cœur de l'humanité et ont une fonction biologique vitale. Des études empiriques montrent qu'il n'y a pas de consensus sur l'impact des brevets sur l'innovation.

Si, malgré tout, on accepte de partir de l'idée que la propriété intellectuelle concourt, au moins en partie, au moins dans certains secteurs, à déterminer la forme actuelle du progrès technique, on peut se demander quels sont les impacts du progrès technologique généré de cette façon. Face aux analyses qui montrent que le progrès technique, sous sa forme actuelle, contribue à induire des impacts écologiques dévastateurs et, dans certains cas, des inégalités sociales et un chômage structurel, on en vient à la conclusion qu'il faudrait encourager un progrès technique différent — moins destructeur sur les plans environnemental et social — et, pour ce faire, le susciter d'une autre façon que, notamment, via des politiques de propriété intellectuelle qui n'ont pas d'effet incitatif dans ces sens spécifiques.

La recherche résumée ici a longuement examiné les notions de développement et de développement durable, a émis des critiques par rapport à la capacité de ce concept (souvent interprété comme « croissance durable ») à susciter les changements qui s'avèrent nécessaires, et lui a préféré la notion de *soutenabilité* (définie plus haut). Si l'on juge les pratiques de propriété intellectuelle

au regard de l'objectif de soutenabilité, cela implique de les juger au regard des critères d'autonomie (quelle autonomie reste-t-il aux non-détenteurs de droits de propriété intellectuelle ?), de cohésion sociale (quel est l'impact des droits de propriété intellectuelle sur le domaine public ?) et au regard de leurs impacts environnementaux, ces trois critères étant au cœur de la notion de soutenabilité.

En raison de ses impacts environnementaux, justement, la promotion de la croissance par l'innovation ne peut pas être considérée comme une politique soutenable. En effet, la croissance est confrontée aux problèmes des sources (60 % des services écosystémiques ont été dégradés ou surexploités depuis le milieu du XXe siècle), aux problèmes des puits (c'est-à-dire la capacité de la planète à assimiler les impacts environnementaux) et au dépassement des limites planétaires (4, presque 5 limites planétaires dépassées à ce jour). Le mythe du découplage voudrait qu'une croissance fondée sur les principes de l'écologie constitue une alternative, mais il faut distinguer découplage relatif et absolu : le découplage relatif est la baisse de l'intensité écologique par unité produite ; mais c'est le découplage absolu qui est nécessaire, c'est-à-dire que les impacts doivent baisser en termes absolus. Si on reste dans une optique de croissance, le découplage doit augmenter à mesure de la croissance. Il doit également augmenter à mesure du développement démographique. Cette prise de conscience est toutefois loin d'être généralisée. Par ailleurs, il nous manque une théorie macroéconomique informée sur le plan écologique.

Les politiques d'incitation à l'innovation ne pourraient donc éventuellement s'inscrire dans des politiques soutenables qu'à condition d'inciter à innover de manière écologique et dans le sens de l'intérêt public ; or les droits de propriété intellectuelle ne constituent tout simplement pas de tels incitants. On peut également conclure des développements qui précèdent que lorsque des solutions techniques de grande utilité sociale sont découvertes, il peut s'avérer contraire à l'éthique et à la soutenabilité d'en restreindre, même temporairement, la diffusion au moyen de droits de propriété intellectuelle. De nombreux auteurs contemporains rappellent en outre que l'intérêt collectif et le développement de la science nécessitent un large fonds commun matériel et immatériel protégé juridiquement de l'appropriation et de la marchandisation.

On peut donc conclure que l'approche utilitariste et, pour nombre de ses adeptes, celle du droit naturel convergent dans leurs analyses des excès de la propriété intellectuelle et aboutissent à l'idée que le droit de propriété intellectuelle devrait au minimum être explicitement subordonné à d'autres objectifs et effectivement soumis à des limites dictées par ces objectifs supérieurs. Dans

cette perspective, on peut conclure : 1°) que des régimes de biens communs matériels et immatériels doivent être instaurés ; 2°) que le bien collectif devrait être recherché au moyen d'un principe politique de délibération collective davantage représentative des intérêts de tous les individus et de toutes les communautés ; 3°) que des exceptions *effectives* à la propriété intellectuelle paraissent pleinement justifiées.

Sur le plan économique, la recherche résumée (sans doute trop rapidement) ici a donc mis en évidence le caractère contestable, à la lumière de l'objectif de soutenabilité, des théories justifiant la course aveugle aux innovations protégées par des droits de propriété intellectuelle, ainsi que l'objectif de croissance *globale* de l'économie[12].

2.3.2. Étude de cas sur l'appropriation de la biodiversité agricole

Enfin, au niveau politique, en guise d'illustration concrète des propos résumés ci-dessus, cette recherche s'est intéressée aux impacts de la propriété intellectuelle sur la biodiversité agricole.

La biodiversité agricole se trouve en phase d'érosion croissante et préoccupante, en grande partie en raison des pratiques inhérentes à l'agriculture moderne. Selon la FAO, 75 % de la biodiversité cultivée a disparu au XXe siècle. Or le maintien de la biodiversité phytogénétique dans les champs est un atout essentiel pour la sélection, pour la lutte contre les pathogènes et pour l'adaptation aux conditions environnementales et climatiques. Les variétés actuelles sont issues des variétés sélectionnées depuis des siècles par les agriculteurs traditionnels.

Cette recherche a montré la reconnaissance, dans les années 80, des ressources génétiques végétales internationales utiles à l'alimentation comme un patrimoine commun de l'humanité dans le but de permettre au secteur semencier d'accéder librement à ces ressources. Elle a ensuite montré la déconstruction du concept de patrimoine commun de l'humanité dans les années 90 pour des raisons directement liées à l'évolution du droit de la propriété intellectuelle et au développement des biotechnologies. En effet, les firmes biotechnolo-

12. C'est la croissance globale de l'économie, de la production, des échanges, de la consommation, de l'extraction des ressources, des rejets et des impacts qui est non soutenable. Pour que cette croissance globale ne se réalise pas, et pour que l'accès à certains biens fondamentaux s'accroisse néanmoins là où les besoins essentiels ne sont pas encore satisfaits, un certain nombre de secteurs de production devraient cesser d'être pensés en termes de croissance : la production dans des limites définies est également concevable.

giques souhaitaient pouvoir déposer des brevets sur les ressources phytogénétiques, ce que ne permettait pas le statut de patrimoine commun de l'humanité. Et les pays du sud riches en biodiversité, désireux de s'inscrire dans le commerce mondial des ressources, revendiquèrent et obtinrent la souveraineté sur leurs ressources phytogénétiques. La Convention sur la diversité biologique conditionna l'accès aux ressources au consentement des États et à des contrats bilatéraux de bioprospection. Mais cette solution ne convenait pas non plus aux intérêts des secteurs de la sélection agricole et de la biotechnologie végétale. Un système multilatéral d'accès aux ressources phytogénétiques fut instauré en 2004, en contrepartie des objectifs de conservation soutenable des ressources, de droits des agriculteurs et de partage d'avantages pour les pays et communautés pourvoyeurs de ressources. Mais ces objectifs de conservation, de droits des agriculteurs et de partage des avantages n'ont, à ce jour, toujours pas trouvé de traduction concrète réellement satisfaisante. Les pays en développement se sont donc retrouvés perdants.

Cette recherche a ensuite examiné la question de la protection des savoirs traditionnels. Les savoirs traditionnels sont importants : 80 % de la population mondiale les utilisent pour se nourrir ou se soigner ; 75 % des produits pharmaceutiques découlent de plantes utilisées en médecine traditionnelle ; l'étude des savoirs traditionnels augmente très fortement les résultats de la bioprospection. Depuis des décennies, les savoirs traditionnels ont fait l'objet de bioprospection ; depuis les années 80, certains ont fait l'objet d'innovations protégées par des droits de propriété intellectuelle qui ont été perçus comme de la biopiraterie. L'idée de protéger les savoirs traditionnels est née dans le but de les protéger de la biopiraterie et dans le but de les valoriser à l'instar des innovations modernes. Mais le droit de la propriété intellectuelle classique ne peut s'appliquer à tous les types de savoirs traditionnels : il faudrait créer de nouveaux types de droits, tant sur les ressources que sur les savoirs traditionnels.

Cette question de la protection des ressources et des savoirs traditionnels est traitée depuis plus de vingt ans dans les institutions internationales. Dans le cadre de l'OMPI (Organisation mondiale de la propriété intellectuelle), de l'ADPIC (Accord de l'OMC sur la propriété intellectuelle) et des travaux prolongeant la Convention sur la diversité biologique, les négociations sur cette question sont extrêmement lentes, les pays en développement souhaitant introduire les critères de consentement, de partage des avantages, de divulgation de l'origine des ressources dans le droit des brevets, et les pays développés s'y opposant. Les pays en développement cherchent par ailleurs à développer des systèmes *sui generis* (= de son propre genre) pour la protection des savoirs tra-

ditionnels, mais les pays développés les contraignent à ce que ces systèmes *sui generis* soient conformes au droit international des brevets. Les pays en développement et les communautés se retrouvent de nouveau perdants.

Dans un troisième temps, cette recherche s'est intéressée à l'évolution de la protection des plantes et des variétés végétales au moyen de droits d'obtention végétale et de brevets. Elle a montré que cette évolution se fait dans le sens d'un élargissement et d'un renforcement de la protection, soit au moyen d'une évolution des normes, soit au moyen de stratagèmes juridiques. Et que parmi les conséquences de cette évolution, on assiste à une érosion manifeste d'éléments du domaine public (via le brevetage effectif de gènes natifs ou de plantes, par exemple) et, dans certains États, à une restriction du privilège du fermier de ressemer le grain issu de ses récoltes, alors qu'il s'agit d'une pratique déterminante pour la conservation de la biodiversité agricole et pour l'autonomie alimentaire des peuples.

Par ailleurs, l'enlisement du cycle de Doha (OMC) a conduit à la multiplication des accords de libre-échange régionaux et bilatéraux. Parmi les objectifs de ces accords, on retrouve souvent celui d'imposer des normes encore plus sévères en matière de propriété intellectuelle que dans les traités internationaux. Un certain nombre de ces accords sont critiqués pour leur manque de transparence et le rôle que jouent les grandes multinationales dans les négociations. Les craintes sont que les exceptions et limites prévues par les traités actuels en matière de propriété intellectuelle soient remises en question (ces craintes se sont confirmées dans certains traités déjà signés). Or la question des semences peut se voir affectée par le durcissement des normes en matière de propriété intellectuelle (par exemple, via la disparition totale du privilège du fermier). D'autres craintes concernent les normes sanitaires et environnementales. Certains traités ont par exemple introduit des clauses obligeant à cultiver les semences certifiées, c'est-à-dire les semences industrielles, et on a assisté, suite à de telles dispositions, à la destruction de tonnes de semences paysannes et de toutes les cultures issues de ces semences (par exemple en Colombie).

Cette étude de cas a ensuite examiné quelques autres problématiques démontrant une appropriation croissante de la biodiversité.

Elle a montré que la préservation *in situ*, indispensable aux petits agriculteurs qui constituent encore la majorité des agriculteurs dans le monde (essentiellement dans les pays en développement), et indispensable dans l'optique d'une agriculture soutenable au Nord comme au Sud, est institutionnellement négligée au profit de la préservation *ex situ* dans des collections de banques

de semences, préservation *ex situ* initiée par des organismes internationaux (CGIAR, FAO) étroitement liés aux entreprises semencières et biotechnologiques qui sont les principales bénéficiaires de la conservation *ex situ* (par ailleurs de plus en plus concentrée). Or la conservation *ex situ* donne un faux sentiment de sécurité, car la biodiversité continue de s'éroder dans les champs et dans les banques elles-mêmes[13].

Cette recherche a également montré que l'évolution du droit des semences communautaire a pour effet de restreindre le commerce de certaines semences. En effet, les critères requis pour l'inscription des variétés au catalogue sont tels qu'ils aboutissent à exclure de fait de nombreuses variétés du domaine public, locales, anciennes, de conservation, paysannes, etc. Or ces critères ne sont pas justifiés dans le cadre d'une agriculture soutenable. Ils ont pour conséquences des semences plus chères et des agriculteurs plus dépendants, le fait que de nombreuses variétés du domaine public ne sont pas inscrites et ne peuvent donc pas être commercialisées, une standardisation des variétés, une érosion de la biodiversité agricole et le fait que les agriculteurs biologiques trouvent peu de semences adaptées à la culture biologique avec peu d'intrants.

Enfin, cette recherche a montré que l'accaparement des terres progresse considérablement (il concerne déjà des dizaines de millions d'hectares)[14], et que ces vastes terres agricoles accaparées, converties à l'agriculture intensive pour certaines, actuellement inexploitées pour d'autres, sont désormais indisponibles pour les populations et pour des pratiques de conservation *in situ* de la biodiversité agricole par les agriculteurs locaux.

---

13. La conservation *ex situ* retire l'espèce de ses contextes écologiques naturels, stoppe temporairement l'évolution naturelle et les processus d'adaptation : il se peut dès lors qu'une fois « relâchée », l'espèce n'ait pas les adaptations génétiques et les mutations qui lui permettraient de prospérer dans son habitat naturel qui, entretemps, aura évolué. Extrêmement coûteuses, les techniques de conservation *ex situ* ne sont pas toujours réalisables. Elles sont par ailleurs inefficaces pour certaines plantes, les graines ne restant pas fertiles pendant de longues périodes.
14. Les investisseurs peuvent être classés en trois groupes. Ceux du premier groupe proviennent de pays de l'OCDE. Les deux autres groupes de pays sont constitués par des pays émergents. Le second groupe se compose de pays ayant pour caractéristique commune un faible ratio surface cultivable / population, à l'image de la Chine. Au sein de ce groupe se trouvent les « tigres » asiatiques, les principaux pays émergents, quelques pays à revenus moyens. On retrouve également dans ce groupe les pays du Moyen-Orient disposant de fortes ressources financières, mais souffrant de faibles disponibilités en eau. Enfin, le troisième groupe concerne lui aussi des pays aux économies émergentes, mais possédant un secteur agricole relativement important. C'est notamment le cas de l'Inde et de l'Afrique du Sud (Tilman, 2016, p. 377).

Les différents phénomènes décrits dans cette étude m'ont donc conduite à conclure que nous assistons à une érosion et à une appropriation croissantes de la biodiversité agricole qui constituent un obstacle à l'autonomie alimentaire des peuples, et que la propriété intellectuelle est un instrument qui contribue à ces tendances.

S'est alors posée la question de savoir si le modèle *open source* appliqué aux ressources phytogénétiques pourrait permettre de sortir de cette impasse : dans cette perspective, ces ressources ne seraient ni du domaine public, ni brevetées, mais feraient l'objet d'une sorte de licence *copyleft*. Deux initiatives de ce type ont été étudiées à titre d'exemples (une américaine[15] et une indienne[16]) afin d'en expliciter les objectifs et d'en repérer les limites. La conclusion est que les initiatives *open source* comportent incontestablement des atouts. Néanmoins, elles demeurent dans le paradigme de la propriété intellectuelle et visent parfois uniquement à créer de nouveaux types de marchés. Par ailleurs, elles ne sont pas aussi solides et contraignantes légalement que les brevets et les droits d'obtention végétale. Sur la question des semences, elles peuvent donc se révéler intéressantes, mais ne constituent pas la panacée.

Pour conclure, j'ai identifié plusieurs mesures concrètes qui pourraient être mises en œuvre pour tenter de sortir de l'impasse écologique, économique et sociale dans laquelle nous nous sommes installés.

2.3.3. Recommandations politiques

Au terme de cette recherche, quelques principes souhaitables relatifs à l'établissement de régimes de biens communs ont été synthétisés.

Ainsi, dans le domaine matériel, les libertés, besoins et droits fondamentaux semblent amplement justifier le développement de régimes relatifs aux *res communes* : il s'agirait de biens qui ne pourraient être appropriés que par fragments, des biens que tous pourraient utiliser dans la mesure où cet usage n'épuiserait pas leur substance. Dès lors, des règles relatives à l'accès aux *res communes*, à leurs usages, à leur gestion économique, à leur gestion écologique, à la répartition des avantages qui peuvent en être retirés, etc. devraient être instituées. Pour chaque *res communis*, un « gardien » devrait gérer la mise en œuvre de ces règles. La responsabilité civile devrait pouvoir être engagée en cas d'atteinte à une *res communis* et un principe de réparation devrait être institué.

15. Voir https://www.adaptiveseeds.com/seeds/highlighted-varieties/open-source-seed-initiative/
16. Voir https://csa-india.org/

La possibilité d'agir en justice quand on est empêché de jouir d'une *res communis* par un tiers ou que celle-ci est significativement dégradée devrait être reconnue. Des fonds pour la conservation des *res communes* devraient être établis. Certains proposent également la mise en place de fonds d'indemnisation. Au niveau international, d'un point de vue conceptuel, ce régime rejoindrait celui du patrimoine commun de l'humanité (régime actuellement perverti, et donc à reconstruire, comme le montre le travail de recherche sur lequel se base ce résumé).

Dans le domaine immatériel, ce régime des *res communes* prendrait la forme d'une définition positive du domaine public et de règles permettant d'en garantir la préservation et les conditions matérielles d'accès. Le domaine public serait réaffirmé comme la règle et la propriété intellectuelle comme l'exception. Le domaine public serait défini comme un ensemble de pratiques culturelles ou scientifiques d'intérêt général, qui recouvre en outre le domaine du savoir déjà accessible.

Dans le domaine des brevets, les notions d'invention et de découverte devraient être clarifiées. Le principe selon lequel le droit des brevets peut s'appliquer à tous les domaines de création et d'innovation sans discrimination devrait être refusé, la composition du domaine public étant une question de choix politique. Pour déjouer les pressions économiques et politiques exercées sur les pays dans le cadre des négociations sur les accords bilatéraux et multilatéraux relatifs à la propriété intellectuelle, la délimitation du domaine public, les exclusions et exceptions à la brevetabilité devraient faire l'objet de procédures réellement démocratiques et préalablement informées. Toute atteinte à l'accessibilité d'un élément de savoir ou de technique d'intérêt majeur devrait pouvoir faire l'objet d'une action en justice accessible à tous. Des stratégies de conservation et d'accès aux éléments de savoir et de technique d'intérêt majeur devraient être mises en place. Les durées de protection devraient être revues à la baisse. Les tentatives frauduleuses d'appropriation du domaine public, les stratégies visant à bloquer l'accès au domaine public par des mesures techniques ou un enchevêtrement des droits ou à prolonger la durée des droits devraient pouvoir faire l'objet de sanctions. Les offices de brevet ne devraient plus être financés par les utilisateurs du système des brevets afin d'être en mesure de garantir un examen plus impartial des demandes.

Au terme de l'étude de cas, une série de recommandations politiques ont également été synthétisées.

Dans le domaine agricole, les solutions internes au droit de la propriété intellectuelle ne semblent pas avoir fait la preuve d'une grande efficacité (cette conclusion ne préjuge en rien de ce qu'il en est dans d'autres domaines technologiques que je n'ai pas étudiés). En effet, les exceptions au droit des brevets se sont révélées peu opérantes (licences obligatoires) ou ont été contournées ; les tentatives de créer, au sein du secteur public, des *patents pools* dans le secteur des biotechnologies ne se sont pas montrées efficientes et ne semblent pas avoir permis au secteur public de contourner les problèmes liés aux brevets comme, par exemple, les « maquis de brevets »[17] (contrairement au secteur privé pour lequel les *patents pools* sont des stratégies efficaces) ; de même, les initiatives *open source* dans le domaine agricole ne se révèlent pas aussi efficaces qu'espérées.

Dès lors, dans le domaine de la propriété intellectuelle, aux niveaux international et national, il semble impératif de faire marche arrière, notamment sur la question des brevets sur le « vivant » : de renforcer et de réglementer le domaine public pour lutter contre sa confiscation ; de rendre plus sévères les exigences de protection, notamment le degré d'inventivité, la nouveauté et l'état de l'art, de façon à rendre non brevetables les éléments biologiques préexistants ; de redéfinir plus strictement la distinction entre découverte et invention, et de réaffirmer que tout matériel biologique ou substance naturelle qui a été isolé de son environnement naturel ou dont les fonctions ont été identifiées n'est pas une invention ; d'exclure les découvertes de la protection par brevet ou par droit d'obtention végétale ; de faire marche arrière au niveau des limitations du privilège de l'agriculteur ; de revenir à la conception selon laquelle la propriété intellectuelle est l'exception et les semences de ferme le principe ; de réduire la durée des droits ; de résoudre le problème que pose l'autofinancement des offices des brevets/de protection des obtentions végétales ; de ne plus conclure d'accord bilatéral et multilatéral négocié sans transparence et sans participation démocratique ; de faire marche arrière là où de tels accords entravent le développement ; d'aborder la question des biotechnologies et de leur protection non pas technique par technique, mais dans son ensemble, et de déterminer un cadre éthique général.

Mireille Buydens a suggéré d'autres propositions qui n'ont pas été abordées dans cette recherche, mais qui ont toute leur pertinence : développer le droit de la concurrence déloyale, offrir des récompenses matérielles et immatérielles ou à tout le moins un système de récompense alternatif, transformer la propriété intellectuelle en simple droit à rémunération via des licences obligatoires glo-

17. Réseau dense de droits de propriété intellectuelle qui se chevauchent.

bales, faire appliquer une obligation d'exploitation de l'invention (Buydens, 2006, pp. 433-474), appliquer la *théorie de l'abus de droit* selon laquelle « les droits ne peuvent être exercés dans un but étranger à celui pour lequel le législateur les a conçus, cette théorie impliquant qu'il est abusif d'user d'un droit dans l'intention de nuire », mettre en œuvre la *théorie de l'apparence* selon laquelle « le déposant qui crée indûment l'impression que son invention est valablement brevetée serait amené à dédommager les tiers ayant souffert de ce monopole apparent dès lors que cette apparence lui est (partiellement) imputable, que les tiers victimes ont pu y croire de bonne foi et que ceci leur a causé préjudice (ce qui sera le cas dès lors qu'ils auront été écartés du marché » (Buydens, 2012, pp. 445-475).

Dans le domaine des politiques et des pratiques agricoles, il est urgent, pour des raisons environnementales et sanitaires, de diminuer la dépendance aux intrants chimiques toxiques ; de recourir davantage à une plus grande diversité de variétés locales adaptées et de favoriser les échanges de semences ; de favoriser la production et le commerce de semences réellement biologiques et de semences libres de droits de propriété intellectuelle ; de promouvoir la conservation *in situ* des ressources ; de financer et de multiplier les banques de semences au nord et au sud, les banques locales et communautaires et les initiatives de conservation des variétés locales ; de faciliter l'accès à ces banques par les agriculteurs et les populations et de faciliter les échanges de matériel végétal ; de revoir les critères requis pour l'inscription aux catalogues de semences (distinction, homogénéité, stabilité (DHS), productivité, etc.) et d'ouvrir les catalogues aux variétés du domaine public, aux semences de conservation, aux semences locales, traditionnelles, paysannes et non DHS ; de supprimer les redevances pour l'inscription et le maintien de ces variétés aux catalogues ; de ne pas en limiter le commerce et la culture ; de développer la production et la commercialisation de ces variétés ; de lutter contre l'accaparement des terres et de rétablir les droits des peuples et communautés sur leurs territoires.

Au niveau de la société civile, enfin, il importe de ne plus se reposer aveuglément sur le marché et l'État comme s'ils étaient au service de l'intérêt général ; de créer et de fédérer des mouvements d'opposition, de désobéissance et de lutte ; d'initier des pratiques alternatives et collaboratives (par exemple de lancer des initiatives locales de conservation et d'échange de semences, etc.). Au niveau politique, cette recherche suggère cependant incidemment que, pour parvenir à modifier le droit en faveur de la soutenabilité sociale et écologique, c'est aussi nos démocraties qu'il faudrait réformer vers des formes plus représentatives de l'intérêt général.

3. Les impacts des droits de propriété intellectuelle dans le cadre de la crise sanitaire liée à la covid-19 : premiers constats et hypothèses

3.1. Le projet d'assouplissement du droit de la propriété intellectuelle

Depuis mars 2020, on ne compte plus les appels, les propositions et les initiatives (déclarations, résolutions, pétitions) émanant de la société civile, d'États et même d'institutions internationales (ONU, OMS) en faveur d'un assouplissement du droit de la propriété intellectuelle :

1. résolutions, pétitions et lettres ouvertes réclamant un accès tantôt « équitable »[18], tantôt « universel[19] et gratuit[20] » aux traitements et vaccins contre la COVID-19[21] ;
2. lois et projets de lois cherchant à assouplir la concession de licences obligatoires[22] ;
3. appel à l'Union européenne à « enclencher une procédure de licence publique » qui obligerait les laboratoires à transmettre leurs brevets (AFP, 2021) ;
4. invitations à initier une nouvelle forme de coopération entre l'industrie, le gouvernement et la recherche publique, en dehors de modèles traditionnels[23] ;
5. appels à une mutualisation des droits sur les technologies médicales nécessaires à la prévention, à la détection et au traitement de la COVID-19 où l'OMS jouerait un rôle d'interface en redistribuant notamment les licences nécessaires à la production, en tenant compte des besoins à l'échelle planétaire[24] ;

18. Par exemple, 193 pays de l'ONU ont réclamé un accès équitable aux futurs vaccins (Belga, 2020).
19. Voir, par exemple, la *Riposte à la COVID-19* (OMS, 2020).
20. Voir, par exemple, la *Pétition européenne pour l'accès aux futurs traitements contre le COVID-19* (PTB, 2020).
21. Voir, par exemple, la lettre ouverte *S'unir pour un vaccin pour tous contre la covid-19* (Le Monde, 2020)
22. Par exemple, au Brésil (Beaudor & Preux, 2020).
23. Voir, par exemple, l'*Open Access Declaration against COVID-19* (2020).
24. Comme le relaie, par exemple, Public Eye, 2020.

6. exhortation de l'OMS et du Costa Rica à volontairement mettre en commun le savoir, les droits de propriété intellectuelle et les données nécessaires pour lutter contre la COVID-19 (OMS, 2020) ;

7. appels en faveur d'une modification en profondeur de la gestion des droits de propriété intellectuelle (les propositions d'aménagements faisant appel à une démarche volontaire risquant d'être vouées à l'inefficacité). Certains ont proposé de réquisitionner de façon temporaire ou permanente des brevets indispensables par le biais de l'OMS, d'imposer une licence obligatoire gratuite mondiale pour les vaccins qui fonctionneraient, de réquisitionner les moyens de production existants pour produire les médicaments en « tension », de mettre en place des chaînes de production nationales publiques et une planification sanitaire coordonnée avec les pays européens et capables d'exporter vers les pays à ressources limitées. Un tel système permettrait, selon ses défenseurs, de mutualiser les droits de propriété intellectuelle pour lutter contre une crise sanitaire commune. Pour assurer la viabilité économique du système pour les détenteurs de droits de propriété intellectuelle, plusieurs conditions seraient nécessaires : une situation exceptionnelle, une réquisition des molécules, médicaments ou procédés médicaux liés au problème sanitaire envisagé uniquement, une prorogation de la durée de validité des droits de propriété intellectuelle, une indemnisation a posteriori si des abus ont été commis et un dividende juste et équitable aux détenteurs des droits de propriété intellectuelle utilisés (Beaudor & Preux, 2020) ;

8. au-delà de ces mesures qui cherchent à aménager le régime de protection de la propriété intellectuelle, mais ne le remettent pas radicalement en question, des collectifs de professionnels de la santé et de citoyens ont publié des manifestes exigeant l'abrogation des brevets sur les médicaments[25]. Une pétition intitulée *Appel pour mettre le futur vaccin contre le COVID-19 dans le domaine public* a été signée par des scientifiques de renommée mondiale, ainsi que des personnalités de la société civile (Revue Progressistes, 2020). Riccardo Petrella a lancé une campagne planétaire interpellant le Secrétaire général des Nations Unies afin que les vaccins destinés à lutter contre les pandémies soient retirés de la sphère privée et consacrés « biens communs publics mondiaux » (Pour Press, 2020). Des citoyens ont réclamé que les brevets du vaccin anti-COVID-19, « bien

25. Voir, par exemple, le Manifeste *Pour une appropriation citoyenne active et solidaire de la santé* (Collectif de professionnels de la santé, 2020).

commun pour l'humanité », soient libérés et que ces vaccins deviennent des génériques (AFP, 2020).

Ces propositions et initiatives prises à travers le monde ces derniers mois expriment donc une demande, provenant tant de la société civile que de certains États, d'aménagements des régimes de protection de la propriété intellectuelle sous des formes diverses : partage volontaire de droits de propriété intellectuelle, licences mondiales non exclusives, pools de brevets, licences libres, initiatives de recherche ouvertes, participatives et collaboratives, licences obligatoires, réquisitions de brevets par l'OMS pour mutualiser les droits de propriété intellectuelle, abrogation des brevets dans certains domaines...

Cette demande d'assouplissement des régimes de propriété intellectuelle existe depuis longtemps, mais elle émanait auparavant essentiellement d'acteurs (relativement peu puissants) dont les intérêts n'étaient pas rencontrés par les régimes de protection de la propriété intellectuelle (pays en développement ou émergents, ONG). Elle a tout de même donné lieu en 2001 à la Déclaration de Doha sur l'Accord des ADPIC et la santé publique (OMC, 2001) facilitant notamment (dans une certaine mesure, toute relative) l'octroi de licences obligatoires, ainsi qu'à un amendement de l'Accord des ADPIC en 2017.

Entre mars et juillet 2020, cette demande d'aménagements a semblé être aussi le fait d'acteurs plus puissants, traditionnellement partisans d'un renforcement de la propriété intellectuelle, comme la France, par exemple, dont le président a évoqué l'idée que le vaccin contre la COVID-19 devrait être un bien public mondial disponible, accessible et abordable pour tous (Elysée, 2020), ou comme l'Allemagne et le Canada qui, selon Médecins sans frontières, auraient modifié leurs législations pour faciliter les licences obligatoires (MSF, 2020). On peut donc légitimement s'interroger : cette demande est-elle réelle de la part des pays traditionnellement partisans de régimes de propriété intellectuelle forts, ou s'agit-il juste de communication ? Cette demande a-t-elle des chances d'aboutir et de profiter à l'ensemble des pays, communautés, acteurs des secteurs de la recherche et de la santé, et malades ? Aura-t-elle des implications temporaires limitées à la crise de la COVID-19 ou des implications à long terme en matière de protection de la propriété intellectuelle qui pourraient bénéficier à d'autres recherches pharmaceutiques ou médicales, ou même à d'autres secteurs ? L'espoir, pour les malades, pour les systèmes d'assurance maladie, pour les pays en développement est-il permis ? La suite de cet exposé suggérera des pistes susceptibles d'apporter des éléments de réponse à ces questions.

3.2. Analyses actuelles favorables au développement des communs

On a pu lire également un certain nombre de publications présentant le système de santé comme un commun essentiel, le médicament comme un bien commun, la philosophie des communs comme « une stratégie de survie à la pandémie », le thème des communs comme « un thème central dans les réflexions sur le monde d'après », la crise du coronavirus comme ayant « remis au premier plan les obligations du commun », etc. Ces appels ont tous émané d'acteurs de la société civile. Citons-en quelques-uns à titre d'exemples.

Pour Dardot et Laval :

> « Deux choses sont désormais apparues à des millions d'hommes. D'une part, la place des services publics comme institutions du commun capables de mettre en œuvre la solidarité vitale entre humains. D'autre part, le besoin politique le plus urgent de l'humanité, l'institution des communs mondiaux. Puisque les risques majeurs sont globaux, l'entraide doit être mondiale, les politiques doivent être coordonnées, les moyens et les connaissances doivent être partagés, la coopération doit être la règle absolue. Santé, climat, économie, éducation, culture ne doivent plus être considérés comme des propriétés privées ou des biens d'État : ils doivent être considérés comme des communs mondiaux et être institués politiquement comme tels. Une chose est désormais sûre : le salut ne viendra pas d'en haut. Seuls des insurrections, des soulèvements et des coalitions transnationales de citoyens peuvent l'imposer aux États et au capital » (Dardot & Laval, 2020).

Même son de cloche chez Philippe Aigrain : « Pour éviter la guerre sociale qui est devant nous, il va falloir non seulement empêcher de nouvelles destructions, mais aussi nous substituer à l'État social et construire les solidarités horizontales des communs, sans attendre d'avoir "gagné" » (Aigrain, 2020).

« En réalité, explique Jacques Le Goff, la seule définition pertinente (du bien commun) repose sur le choix collectif d'attribution de la qualité de bien commun à ce que l'on veut soustraire au seul jeu du marché et de la souveraineté étatique. C'est-à-dire dans les deux cas à la propriété comme droit de complète disposition. Les biens communs ne sont donc pas un donné, mais un construit social et politique par les autorités légitimes aux niveaux mondial ou national, voire même local » (Le Goff, 2020).

Mais qu'est-ce qu'un commun, après tout ? P. Pharo propose un résumé de la notion de « commun » :

« Les communs sont une vieille notion du droit romain qui désignait les choses communes (res communes) telles que l'air, l'océan, les rivières..., utilisables à volonté mais "indisponibles", c'est-à-dire soustraites au commerce et à l'appropriation privée. Elles s'opposaient aux choses qu'on avait le droit de s'approprier lorsqu'elles n'appartiennent encore à personne (res nullius) comme l'eau des puits ou des lacs, la terre, les fruits sauvages, le gibier ou les ressources naturelles. Sous l'ancien régime, les communs renvoyaient plutôt à des droits d'usage sur des biens communs tels que les terres communales, mais aussi sur certains biens privés, par exemple les pâtures d'après moisson, le bois de chauffage ou de construction, le glanage... ». [...]

« La notion a resurgi il y a un demi-siècle, sous la plume d'un écologiste malthusien, Garrett Hardin, qui montrait que l'usage intensif d'une ressource limitée comme par exemple un pâturage par un nombre croissant d'éleveurs, aboutit inévitablement à l'épuisement de la ressource et à la ruine des exploitants. La conclusion qu'il tirait de cette "tragédie des communs", c'est qu'il fallait soit étatiser, soit privatiser les communs, avec néanmoins chez lui une préférence pour la privatisation. Ce à quoi l'économiste libérale Elinor Ostrom, une des rares femmes à avoir obtenu un prix Nobel, répondit un peu plus tard, en s'appuyant sur de multiples études relatives à la gestion des pêches, des forêts, des moyens d'irrigation... partout dans le monde, que les communs n'étaient jamais mieux gérés que par les utilisateurs de la ressource commune, qu'ils soient ou non propriétaires. Son idée d'"auto-gouvernance" permettait de dépasser les visions étroites de la propriété privée ou de l'étatisation, tout en redonnant aux communs leur véritable sens de ressources à utiliser collectivement dans les conditions les plus équitables ». [...]

« L'idée est-elle de supprimer la propriété privée et la propriété étatique au profit de la propriété commune ? Ce que la philosophie des communs oppose aux dérives addictives et inquisitrices du capitalisme, ce n'est ni l'étatisation, ni même la propriété commune de tous les biens, et encore moins l'abolition de la propriété privée, qui est un droit explicitement reconnu par la Déclaration de 1789. C'est avant tout la protection et l'extension de la part des biens qui devraient échapper à l'appropriation et l'exploitation privée : éducation, recherche, santé, eau, énergie, réseaux numériques, territoires, voies de circulation, patrimoine, revenu d'existence..., et faire l'objet d'une gestion commune par des instances cogérées, c'est-à-dire au fond démocratiques. Certains biens, comme par exemple les entreprises ou les réseaux numériques, sont des biens privés, et néanmoins

> ils engagent une participation commune significative qui requiert un droit de regard des parties prenantes sur leur fonctionnement et leur évolution » (Pharo, 2020).

Au-delà de simples aménagements des régimes de protection de la propriété intellectuelle, ces auteurs et collectifs de citoyens appellent à construire des biens communs qui échappent à l'appropriation et à l'exploitation privatives, à instituer politiquement des communs mondiaux qui soient gérés démocratiquement, à recréer de véritables services publics solidaires, mais aussi des coopérations citoyennes pour « réveiller » et renforcer l'État social défaillant[26].

3.3. Analyses actuelles révélatrices d'un contexte peu favorable aux deux projets précédents

3.3.1. La position de l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle

En avril 2020, le directeur général de l'OMPI (OMPI, 2020) a estimé qu'à ce stade, dans un contexte où, selon lui, près de 70 % de la recherche-développement est financée et menée par le secteur privé contre environ 30 % par l'État[27], le principal enjeu politique réside avant tout dans l'obtention de traitements contre la COVID-19 plutôt que dans celui de l'accès à des traitements puisque ces derniers n'existeraient pas encore[28], dans le soutien aux innovations qui contribuent à la gestion de la crise (par exemple l'élaboration d'applications de traçage), et dans l'amélioration des équipements médicaux vitaux[29]. Dès lors,

26. Sur la distinction entre « biens publics mondiaux » et « biens communs mondiaux », voir Orsi, 2021 : concernant les biens publics mondiaux qui doivent être soustraits au marché, la question est de savoir quelle gouvernance mondiale il faut mettre en place pour les prendre en charge ou les préserver. Concernant les biens communs mondiaux, nous devons nous organiser politiquement pour instituer ces biens communs.
27. Affirmation qui semble devoir être nuancée au regard de l'argent public reçu, en temps normal, par le secteur privé sous forme de subventions, de garanties sur des prêts, d'incitants fiscaux, de remboursements par la sécurité sociale, ou encore au regard de l'évasion fiscale des géants pharmaceutiques (Oxfam, 2018).
28. En réalité, si ce dernier n'est pas connu, cela ne signifie pas pour autant qu'il n'existe pas déjà dans l'immense pharmacopée dont dispose l'humanité, dont une partie est dans le domaine public.
29. On pourrait aussi soutenir que les véritables enjeux politiques, sociaux et sanitaires seraient de développer la prévention (renforcement du système immunitaire) ; de financer ou de refinancer (selon les pays) le secteur de la santé et les systèmes d'assurance maladie ; de protéger et de soigner correctement les personnes âgées ; d'apprendre de nos erreurs en remettant en question l'ensemble des politiques qui se trouvent peut-être à la source de l'émergence de cette pandémie (par exemple, puisque plusieurs hypothèses existent quant à l'origine du virus, l'agriculture et l'élevage intensifs ou encore la biosécurité dans les

ce sur quoi les gouvernements devraient se concentrer, ce sont les incitations à l'innovation, parmi lesquelles la propriété intellectuelle.

Concernant les obstacles à l'accès aux innovations essentielles à des prix abordables, il en existe, selon lui, de nombreux : manque de moyens de production, entraves à la libre circulation, infrastructures en matière de transport, de santé, de numérique, etc. Mais « rien de tout cela n'a trait à des questions de propriété intellectuelle ». Certes, nuance-t-il, la propriété intellectuelle peut aussi constituer une entrave à l'accès, mais des mécanismes existent déjà pour faire face à cette éventuelle situation : les licences obligatoires et les licences de droit des technologies brevetées incorporées dans des fournitures médicales et des médicaments essentiels, ainsi que le recours à des exceptions concernant les œuvres culturelles et éducatives. Mais le recours éventuel à ces mécanismes, s'il a lieu, doit être ciblé et temporaire pour ne pas porter atteinte à l'innovation.

Des initiatives existent déjà en rapport avec la COVID-19, poursuit le numéro un de l'OMPI : accords de licence novateurs, publication de données scientifiques en libre accès, publication des spécifications techniques des équipements essentiels (notamment les respirateurs) pour permettre leur fabrication par des tiers, renonciation à l'application de certains brevets. Les gouvernements peuvent aussi prendre des mesures, comme « la réquisition des capacités de production, le recours aux marchés publics ou l'injection de capitaux et l'assouplissement des crédits pour les jeunes entreprises et les petites et moyennes entreprises afin d'assurer la survie de l'innovation » (OMPI, 2020).

L'OMPI, pour sa part, conclut-il, met à disposition une base de données, PATENTSCOPE, contenant plus de 80 millions de documents de brevets, dotée d'une fonction de recherche spécialement conçue pour l'épidémie actuelle « visant à améliorer l'accès à information technique divulguée dans les brevets publiés se rapportant aux inventions dans le domaine de la détection, de la prévention ou du traitement de la COVID-19 ». Elle a par ailleurs établi « un partenariat avec des éditeurs scientifiques, médicaux et techniques, le Programme ARDI d'accès à la recherche pour le développement et l'innovation, qui offre un accès aux principaux périodiques scientifiques et techniques en ligne à titre gracieux pour les institutions locales à but non lucratif des pays les moins avancés et à un coût modeste pour les institutions des pays en développement à revenu intermédiaire ». Elle a également lancé un « nouvel instru-

laboratoires) ; de réinterroger notre rapport à la vie et à la mort, ainsi qu'aux jeunes générations dont les besoins vitaux sont actuellement niés et sacrifiés et qui vont se retrouver démunies dans un paysage social, culturel (et économique) dévasté.

ment de suivi des modifications apportées à la politique en matière de propriété intellectuelle en rapport avec la COVID-19 ou d'autres mesures mises en œuvre par les États membres pour lutter contre la pandémie » (OMPI, 2020).

Pour l'OMPI, les mesures existantes semblent donc suffisantes, l'essentiel pour l'Organisation étant de stimuler l'innovation via les droits de propriété intellectuelle. La voix de l'OMPI est en réalité celle des États qui ont un intérêt à préserver des systèmes de protection de la propriété intellectuelle forts. Ces États introduisent (ou semblent faire mine d'introduire) des aménagements, car c'est dans leur intérêt en cette période particulière, mais leur ligne directrice reste bien celle du respect des droits de propriété intellectuelle.

3.3.2. La position de l'Organisation mondiale du commerce

La position de l'OMC est qu'il importe de maintenir un commerce ouvert, même en période de crise sanitaire. Pour ce faire, elle recommande plus que jamais de limiter les dommages que peuvent causer les restrictions au commerce, de réduire, voire d'éliminer certains droits de douane (sur les biens liés à la santé, les biens essentiels, les biens et services environnementaux), d'assouplir les normes intérieures (par exemple les enregistrements et approbations des produits pharmaceutiques et dispositifs médicaux).

Sur le plan de la protection de la propriété intellectuelle, elle reconnaît les flexibilités prévues dans l'Accord sur les ADPIC. Les États peuvent notamment utiliser des procédures de licences obligatoires conformes aux règles de l'OMC si des produits pharmaceutiques ou des dispositifs médicaux brevetés et nécessaires sont inabordables ou difficiles à se procurer. La concession de licences de brevets volontaires et la mise en commun des droits de propriété intellectuelle sur différents médicaments ou technologies médicales sont des possibilités supplémentaires dans le cadre des règles de l'OMC.

3.3.3. La position de l'Union européenne

Supprimer les brevets sur les vaccins est « une fausse bonne idée », a déclaré en février une ministre française, estimant que le véritable sujet de « blocage » est de « trouver des sites de production en capacité de fabriquer » les vaccins anti-COVID (AFP, 2020). C'est aussi le point de vue de la Fédération internationale de l'industrie pharmaceutique : « Supprimer les brevets ou imposer une suspension ne produirait pas une seule dose de vaccin de plus [...]. C'est une question de savoir-faire, de qualification » (Belga, 2021). Dans la même ligne de pensée, un représentant de l'exécutif européen a déclaré : « Ce

qui est le plus important désormais, plus encore que le développement des vaccins, c'est l'accélération de la fabrication de vaccins. Et la meilleure façon que nous ayons pour y parvenir, c'est de diffuser la technologie et le savoir-faire des fabricants par le biais d'accords d'octroi de licences » (Michalopoulos, 2021).

Du côté de l'Union européenne, on estime donc que le système commercial multilatéral fondé sur les règles de l'OMC dispose des moyens adéquats pour soutenir l'accès universel et équitable aux vaccins et traitements contre le COVID-19 : « Les règles de l'OMC sont déjà suffisamment souples pour résoudre les problèmes liés à l'accord de licences de technologie et de savoir-faire en matière de vaccins, notamment par l'octroi de licences obligatoires sans le consentement du titulaire du brevet, ce qui peut être accéléré dans des situations d'urgence telles que la pandémie actuelle » (Michalopoulos, 2021). Selon les mêmes sources, les licences obligatoires pourraient également être autorisées à l'exportation vers des pays ne disposant pas de la capacité de production suffisante. Le système de propriété intellectuelle constituerait donc une partie de la solution : « La propriété intellectuelle est un facteur clé dans la mise en œuvre d'un cadre permettant de conclure ces accords. Des ententes de collaboration volontaire, y compris des partenariats public-privé, sont le meilleur moyen de garantir l'expansion rapide de la production de vaccins en toute sécurité et de manière efficace » (Michalopoulos, 2021).

Le 16 octobre 2020, les États-Unis, l'Union européenne, la Norvège, le Royaume-Uni, la Suisse, le Canada, l'Australie ont rejeté, dans le cadre de l'OMC, la demande soumise par l'Afrique du Sud, l'Inde et d'autres pays du « Sud » (OMC, 2020), soutenue aussi par l'OMS, de dérogations à certaines dispositions de l'Accord sur les ADPIC pour la prévention, l'endiguement et le traitement de la COVID-19 (Amnesty, 2020).

3.3.4. La société civile

De nombreux acteurs de la société civile rapportent une situation globale manifestement non favorable à un assouplissement de la propriété intellectuelle. Parmi les indices suggérant de ne pas s'illusionner sur les effets qui suivront les appels et déclarations qui précèdent, mentionnons les quelques éléments suivants.

Des juristes ont dénoncé le fait qu'en pleine crise sanitaire mondiale, certains n'hésitaient pas à prôner la nécessité d'allonger encore la durée de protection des brevets au-delà des vingt ans prévus par la loi sous prétexte d'encourager la recherche d'un vaccin (Mossoff, 2020).

Dès avril 2020, la valse des dépôts de brevets a commencé[30].

L'Assemblée mondiale de la santé (OMS) a adopté une Résolution (OMS, 2020) appelant à l'innovation ouverte et demandant « l'accès universel, rapide et équitable et la juste distribution de tous les produits et de toutes les technologies de santé essentiels de qualité, sûrs, efficaces et abordables, y compris leurs éléments constitutifs et leurs précurseurs, qui sont nécessaires à la riposte contre la pandémie de COVID-19, en en faisant une priorité mondiale, et l'élimination urgente des obstacles injustifiés à cet accès dans le respect des dispositions des traités internationaux concernés, y compris les dispositions de l'Accord sur les aspects des droits de propriété intellectuelle qui touchent au commerce (Accord sur les ADPIC), ainsi que les flexibilités énoncées dans la Déclaration de Doha sur l'Accord sur les ADPIC et la santé publique ». Mais c'est « dans le respect des dispositions des traités internationaux » relatifs à la protection de la propriété intellectuelle que doit se faire l'élimination des obstacles injustifiés à l'accès aux produits et technologies de santé essentiels : en d'autres termes, si ces traités constituent un obstacle en eux-mêmes, cet obstacle-là ne sera pas levé.

Réagissant à cette Résolution qui encourage des mécanismes de partage volontaire des droits de propriété intellectuelle dans la recherche d'un vaccin et de traitements contre le coronavirus en appelant à éliminer de façon « urgente des obstacles injustifiés » à « l'accès universel, rapide et équitable et la juste distribution » des traitements et vaccins, *en vertu des exceptions possibles aux règles de l'Organisation mondiale du commerce en matière de propriété intellectuelle*, les États-Unis estiment qu'il s'agit d'un mauvais message aux innovateurs[31] (AFP/Belga, 2020).

Des membres de la société civile ont également rapporté les faits suivants : des conditions en matière de brevets et de plafonnement du prix de vente devraient être posées aux programmes de recherche financés, même en partie, par l'argent public. Il est tout à fait possible (c'est une question de volonté politique) d'inscrire dans les contrats public-privé des clauses sur les licences des futurs traitements, des clauses sur la transparence de toutes les données des essais, ou encore sur l'accessibilité des médicaments. Mais les programmes lancés

30. Voir, par exemple, *The Times of Israël* (2020) ; French.China.Org.CN (2020).
31. Notons que les États-Unis protestent face à cette recommandation, alors que celle-ci précise pourtant que c'est bien « dans le respect des dispositions des traités internationaux relatifs à la protection de la propriété intellectuelle que doit se faire l'élimination des obstacles injustifiés à l'accès aux produits et technologies de santé essentiels ».

par l'Union européenne ne feraient pas clairement mention de ces garanties (Knaebel, 2020) :

> « Après avoir interrogé tout le monde, Commission européenne, Banque européenne d'investissement, et le CEPI — pour Coalition for Epidemic Preparedness Innovations, organisme créé en 2017 et regroupant États, organisations philanthropiques et industrie pharmaceutique — le constat est sans appel : il semble que personne n'ait pensé à garder des droits sur le futur brevet du vaccin. [...] Les contrats visant à obtenir de l'argent pour la recherche sur le COVID-19 comprennent toutefois une obligation : rendre les données de recherche disponibles en libre accès dans les 30 jours suivant leur production. "Cela signifie que les utilisateurs finaux pourront accéder aux données, les exploiter, les reproduire et les diffuser sans frais pour eux", selon le porte-parole. Mais cela ne signifie aucun engagement sur l'accès au vaccin » (Minano, 2020).

Selon Euronews, l'Union européenne a mobilisé des donateurs et permis de lever près de 16 milliards d'euros de fonds, assortis de conditions : les chercheurs doivent s'engager à fournir des doses accessibles pour les pays les plus pauvres. Mais la question des brevets n'est pas réglée. « Cela dépend du résultat des négociations entre la Commission et les États membres, et plutôt entre l'équipe de négociation et les développeurs de vaccins », explique Stefan De Keersmaecker, porte-parole de l'institution européenne (Lazaro, 2020). La Commission européenne soutient l'octroi de licences volontaires de propriété intellectuelle liées aux traitements et aux vaccins du COVID-19. Mais rien ne permet encore de dire si cet engagement sera suffisant pour offrir un accès universel. Selon Gaëlle Krikorian, responsable de la campagne d'accès aux médicaments essentiels de Médecins sans frontières (MSF) : « Personne n'est clair sur quel est le plan, quels sont les deals, comment on fait pour qu'il n'y ait pas de monopole, pour assurer un accès équitable [au vaccin] à travers le monde » (Minano, 2020).

Il serait ainsi possible de prévoir des licences « non-exclusives » dans les contrats de financement. Des licences exclusives assurent à une entreprise un monopole sur un traitement. Mais dans une situation de pandémie, une seule entreprise ne pourra pas produire pour l'ensemble des pays touchés. Les entreprises qui détiennent des droits exclusifs peuvent distribuer des licences « volontaires » à d'autres producteurs de leur choix. Mais cela ne sera pas suffisant pour répondre aux besoins mondiaux. D'où la démarche du président du Costa Rica (évoquée plus haut) de promouvoir les communautés de brevets (« *medecine patents pools* »). Ce mécanisme consisterait donc en un mé-

canisme commun mondial de licences volontaires, qui traiterait également la question des secrets de fabrication pouvant aussi mener à des monopoles. Mais, comme souligné plus haut, le caractère volontaire de la démarche la rend très peu probable (Knaebel, 2020).

Les États pourraient aussi opter pour des licences « d'office » ou « obligatoires ». En Europe, il semblerait que cela ait été un tabou jusqu'à cette crise. Mais tout récemment, l'Allemagne aurait fait modifier sa loi pour éventuellement faciliter de telles licences. Selon Médecins sans frontières, le Canada, l'Équateur et le Chili auraient aussi pris des mesures dans ce sens (MSF, 2020).

Le problème de ces démarches est qu'elles sont du ressort de chaque pays. Or sans mécanisme global de solidarité, on n'évitera pas des situations où certains États se réservent des traitements en masse au détriment des autres, avec pour effet possible de faire augmenter les prix, même en l'absence de brevet.

Par ailleurs, les licences obligatoires ne sont pas applicables partout : le Brésil a utilisé cette solution en mai 2007 en imposant une licence obligatoire sur un antirétroviral utilisé fréquemment contre le virus du sida. Si ce pays a pu le faire, c'est parce qu'il avait investi pour se doter de capacités de production et de centres de recherche pharmaceutique permettant de produire ses propres génériques. Mais parmi les 22 pays dits « pharmergents », seuls quatre sont africains (l'Algérie, l'Afrique du Sud, l'Égypte et le Nigeria), et ils ne possèdent pas les mêmes capacités de négociation que le Brésil, l'Inde ou la Chine. Les 50 autres États africains ne disposent pas de telles capacités (Hood, 2020)[32].

Certains articles révèlent à quel point le secteur pharmaceutique reçoit de l'argent public[33], depuis l'aide à la recherche jusqu'aux remboursements par la sécurité sociale (Observatoire des multinationales, 2020). Pendant ce temps, les appels à financements européens pour l'industrie pharmaceutique se poursuivent et se multiplient, sous prétexte de COVID-19, et ce, semble-t-il, dans

32. Au-delà des questions liées à la propriété intellectuelle se posent d'autres problèmes : de nombreux biens essentiels sont en effet produits dans un ou deux pays seulement, souvent en Chine, explique un article du *Monde diplomatique*. Cette situation rend compliqué tout projet d'accroissement de la production de biens essentiels ailleurs en raison des difficultés d'approvisionnement en intrants, en composants, en matières premières. Par exemple, 90 % des substances actives des produits pharmaceutiques sont produites dans deux pays seulement. L'autre conséquence, c'est que toute la chaîne s'interrompt si un seul maillon cesse de fonctionner, créant des pénuries de biens essentiels (Wallach, 2020).
33. Voir aussi Corporate Europe Observatory (2020).

un flou artistique pour ce qui est de la transparence et de la traçabilité des fonds publics[34].

Les Amis de la Terre et l'Observatoire des multinationales (2020) dénoncent, dans un rapport intitulé *Lobbying : l'épidémie cachée*, le lobbying particulièrement intense durant ces derniers mois de crise sanitaire. Selon ce rapport, l'industrie pharmaceutique en aurait profité pour faire pression « pour une protection accrue de sa propriété intellectuelle comme condition de ses investissements contre la maladie » (Grelier, 2020). Les grandes déclarations écologiques et solidaires se sont multipliées, mais dans le même temps les grandes entreprises auraient cherché à capter les aides publiques et à orienter les plans de relance en échappant à toute contrepartie véritablement contraignante. On a assisté à une accélération des processus de décision publique au nom de l'urgence, une accélération qui a mis à mal la transparence (notamment sur les rendez-vous et contacts entre décideurs et représentants d'intérêts), le contrôle démocratique, l'encadrement du lobbying et des conflits d'intérêts et la lutte contre « l'influence informelle ». Cette explosion incontrôlée du lobbying s'est observée à Paris, mais aussi auprès des institutions européennes et à Washington. L'expertise publique — entre fonctionnaires engagés sur des critères politiques et mal préparés, et scientifiques en conflits d'intérêts — semble s'être affaiblie face aux grands cabinets de conseil et d'audits devenus omniprésents dans la gestion de la crise et dans la conception des plans de relance[35].

Un podcast du *Monde* explique qu'au départ l'Europe a joué la carte de la coopération internationale, mais que l'épisode de Sanofi « lui a ouvert les yeux » et que, désormais, d'une part elle soutient un vaccin international ouvert à tous, une transparence des données, des brevets qui permettraient de transférer les technologies et un vaccin à un prix abordable, tandis que d'autre part elle passe des accords avec les grands laboratoires (par exemple AstraZeneca) pour réserver un accès aux premières doses produites (Le Monde, 2020). Les résultats d'une enquête récente de la CEPI estiment la capacité mondiale

34. « La question de la transparence et de la traçabilité des fonds publics dédiés à la recherche vaccinale contre le COVID-19 est généralisée en Europe. Il est très difficile de savoir combien d'argent public a été investi dans le vaccin. Personne ne le sait réellement, à l'exception des entreprises bénéficiaires », analyse Viviana Galli de European Alliance for Responsible R&D and affordable medicine, puissante coalition rassemblant des associations de patients, des consommateurs et des ONG. Les gouvernements eux-mêmes n'ont pas ces données, ce qui veut dire qu'ils seront littéralement "aveugles" quand ils négocieront le prix d'un médicament avec les entreprises pharmaceutiques. Comment négocier un prix juste quand on ignore combien la recherche a coûté ? » (Minano, 2020).

35. Voir aussi Petitjean, 2020.

de production à 2 milliards de doses de vaccins durant l'année 2021. Or rien que l'Union européenne aurait déjà pré-commandé plus d'un milliard, voire un milliard et demi de doses (AFP, 2020).

Interrogée sur les déclarations d'E. Macron parlant des vaccins et des médicaments comme d'un bien commun, Nathalie Coutinet, économiste de la santé, rappelle la prééminence du droit de la propriété intellectuelle : depuis 1994 et les accords de l'OMC, les traités signés vont au contraire dans le sens d'un renforcement des droits. L'OMC avait prévu des mécanismes de licences obligatoires, mais ceux-ci ont été un quasi-échec face aux menaces de certaines firmes et à l'article 301 spécial des USA qui permet des mesures de rétorsion en cas d'atteinte à leurs droits de propriété intellectuelle. Ce sont des ONG qui ont permis, par divers biais, de fournir les médicaments aux pays du Sud, notamment à l'Afrique. Mais ces ONG sont obligées de se concentrer sur les trois fléaux que représentent le sida, la tuberculose et la malaria (Coutinet, Lorrain, 2020).

Dans un podcast de *France Culture*, il ressort des témoignages que, malgré une déclaration récente du directeur de l'ONU, et bien que le programme Covax ait pour mission de commander et de réserver des doses de vaccin pour les mettre à disposition des pays pauvres, gratuitement pour certains et à des prix accessibles pour d'autres, il est de plus en plus évident que les vaccins ne seront pas un bien public mondial, car les droits de propriété intellectuelle ne seront pas abandonnés. Plutôt que d'abandonner leurs droits de propriété intellectuelle, les firmes négocient des accords bilatéraux avec d'autres producteurs afin d'augmenter la capacité de production (France Culture, 2020).

Et pour clôturer cette énumération peu réjouissante, rappelons qu'en 1953, Jonas Salk refusa de breveter le vaccin contre la polio qu´il avait découvert. Une conduite éthique de ce type ne semble plus envisagée de nos jours. Même l'avant-projet de recommandation de l'UNESCO sur une science ouverte admet en son article 14 que si « La science ouverte critique et transforme les limites de la propriété intellectuelle pour améliorer l'accès au savoir pour tous », « L'approche ouverte ne remet pas en question l'utilisation de la propriété intellectuelle comme moyen de tirer profit de l'exploitation et de l'utilisation privées des connaissances pour créer de nouveaux produits ou services compétitifs susceptibles de générer des retombées économiques concrètes » (UNESCO, 2020, p. 8).

Que pouvons-nous conclure de tout ceci ? Nous avons constaté que de nombreuses demandes favorables à des aménagements des régimes de proprié-

té intellectuelle étaient formulées par la société civile et certains États, certains acteurs revendiquant même de placer dans le domaine public tous les résultats des recherches portant sur la COVID-19, y compris les vaccins. Nous avons vu toutefois que la réalité était toute autre et ne rencontrait pas ces demandes et ces propositions : les laboratoires ont en effet bel et bien l'intention de revendiquer leur propriété intellectuelle, malgré l'investissement public massif.

Un rappel de certaines politiques (au sens de « stratégies ») des firmes pharmaceutiques au cours de ces dix dernières années suffit à comprendre qu'il ne pouvait en être autrement et qu'il ne pourra que très difficilement en être autrement.

3.3.5. Analyse de certaines stratégies des firmes pharmaceutiques au cours de la dernière décennie[36]

Dans la décennie qui vient de s'écouler, l'industrie pharmaceutique a été confrontée à l'expiration de nombreux brevets sur des médicaments-phares, un phénomène d'une telle ampleur qu'on lui a donné le nom de « falaise des brevets » (Soulas, 2014, p. 30). Ce phénomène a ouvert la porte à la concurrence des génériques. Il s'est traduit par des baisses de revenus se chiffrant en milliards pour certaines firmes. Pour surmonter cette situation, le secteur pharmaceutique a progressivement mis en œuvre de nouvelles stratégies. Quelles sont-elles ?

Il faut savoir que, dans le modèle d'affaire classique du secteur pharmaceutique, la propriété intellectuelle est l'actif essentiel (Goethals, Wunderle, 2018). Il était donc difficile pour le secteur de se détacher de ce modèle. Il y a quelques années, deux grandes stratégies semblaient coexister au sein des *plus grandes firmes pharmaceutiques* : la stratégie classique basée sur les *blockbusters en fin de parcours* et la stratégie basée sur les génériques (Abecassis, Coutinet, 2015), ces deux modèles n'offrant toutefois pas un niveau de rentabilité satisfaisant pour ces firmes, au regard des niveaux atteints par le passé. Par ailleurs, la productivité de la recherche semble avoir diminué du fait de l'accroissement des investissements, du temps et des procédures nécessaires pour aboutir à des résultats rentables. Les biotechnologies semblent en partie responsables de cette

36. Le développement qui suit, à l'exception de sa conclusion, est en grande partie basé sur trois articles scientifiques antérieurs à la pandémie de COVID-19 : Goethals, Wunderle, 2018 ; Abecassis, Coutinet, 2015 ; Soulas, 2014. Ces articles sont purement descriptifs et ne comportent aucun jugement de valeur vis-à-vis de l'industrie pharmaceutique : on ne peut pas considérer que leur point de vue soit orienté. De nombreux autres articles scientifiques décrivent la même évolution au sein du secteur pharmaceutique.

évolution (Goethals, Wunderle, 2018 ; Soulas, 2014). De nouvelles stratégies ont donc été mises en place pour faire face à ces évolutions. Je n'en aborderai que quelques-unes.

Une stratégie a consisté à étendre ou à prolonger certains brevets. Ce résultat peut par exemple être obtenu en modifiant la composition, le dosage, le mode d'administration, le conditionnement d'un médicament déjà commercialisé, sans en modifier le principe actif. Un résultat équivalent peut être obtenu en étendant l'usage thérapeutique d'un médicament, ce qui permet de prolonger sa durée de protection (Goethals, Wunderle, 2018).

Les procédures de fixation des prix et de remboursement qui avaient cours avec les *blockbusters* ont incité le secteur à ne pas abandonner ce modèle basé sur des médicaments innovants, brevetés et coûteux : une stratégie consistant à développer de nouveaux médicaments brevetés (basés désormais en partie sur les biotechnologies et la génomique) qui ciblent un public très réduit, mais qui se révèlent extrêmement chers, s'est progressivement mise en place : c'est le modèle *custombusters* (Abecassis, Coutinet, 2015). Ce modèle met d'ailleurs les budgets des systèmes de santé sous très forte pression financière. De fil en aiguille, de nombreux médicaments très coûteux et brevetés ont également été mis au point pour traiter des maux courants (comme la migraine).

Il existe, au bénéfice des firmes pharmaceutiques, une asymétrie d'information qui empêche les systèmes de santé de pouvoir évaluer correctement l'apport de ces traitements et qui les conduit à accepter le prix proposé par le laboratoire. « Un des inconvénients du brevet, c'est que cela fait monter les prix sur les innovations puisque par définition le breveté décide seul du prix auquel il vend son produit », explique Mireille Buydens. « Le problème, c'est la hauteur des prix », commente Jean Hermesse : « Quelle est la réalité du prix par rapport à celle de la recherche et du coût de production ? [...] On sait aujourd'hui que dans de nombreux cas, le prix n'est pas déterminé en fonction du coût mais de ce qu'on est prêt à payer pour un médicament, et on arrive à des prix exorbitants » (Tonero, 2021).

Dans une optique de réduction des coûts et d'accroissement des profits[37], une stratégie a été de se tourner vers l'externalisation et la sous-traitance à toutes les étapes de la chaîne. En parallèle, le déclin de la productivité de la R&D a conduit les grands groupes à se tourner vers des acteurs de recherche extérieurs (petites entreprises de biotechnologies, start-up issues de laboratoires

37. La financiarisation croissante du secteur impose des exigences de rentabilité à court terme plus importantes de la part des actionnaires.

universitaires ou privés, laboratoires universitaires, hôpitaux, entreprises) via des partenariats de recherche et des alliances (ce phénomène est connu sous le nom de *open innovation* : son but est de partager les coûts de la R&D), accompagnés dans certains cas de rachats de start-up. Des mégafusions et des plans de restructuration massifs se sont opérés. Dans le même temps, au cours des dernières décennies, la quête de financements (et un lobbying intense) ont poussé les universités et centres de recherche publics à accepter et même à promouvoir la logique de la propriété intellectuelle. Une certaine répartition des rôles s'est renforcée au fil du temps, les universités et centres de recherche se consacrant à la recherche fondamentale, moins rentable, les entreprises de biotechnologie se tournant vers la recherche appliquée et les grands groupes prenant en charge les phases de développement et de commercialisation (Goethals, Wunderle, 2018 ; Soulas, 2014).

Dans un tel contexte, il n'est pas injustifié de faire l'hypothèse que, dans le cas de la COVID-19, ce sont les stratégies exposées plus haut, au centre desquelles figure la protection de la propriété intellectuelle, qui ont déterminé l'orientation des recherches vers des résultats technologiques innovants et brevetés, plutôt que vers d'autres pistes de traitements. C'est du moins une hypothèse qu'on ne peut pas exclure a priori. Et c'est même une hypothèse qu'on se doit, tant moralement qu'intellectuellement, d'examiner sérieusement, vu les implications sanitaires, scientifiques, politiques, économiques et éthiques qu'elle comporterait si elle était confirmée.

Qu'on partage cette hypothèse ou qu'on partage simplement les revendications des pays et des individus qui s'estiment privés de traitements ou de vaccins qu'ils considèrent comme devant devenir des biens communs, on aboutit à une conclusion commune et qui n'est pas nouvelle, à savoir la nécessité de mettre radicalement en question la logique de la propriété intellectuelle dans les domaines pharmaceutique et biologique.

4. Conclusions

Les préoccupations engendrées par la propriété intellectuelle semblent se retrouver dans le domaine de la recherche agricole et dans le domaine de la santé, deux secteurs concernés par des innovations fondamentales. Des propositions d'aménagements aux régimes de protection de la propriété intellectuelle, qui ne cherchent toutefois pas à faire évoluer le cadre général dont l'OMC et l'OMPI sont les gardiens, se retrouvent également dans ces deux secteurs.

Mais on y trouve aussi d'autres propositions qui vont bien au-delà de l'idée de simplement « aménager » le droit de la propriété intellectuelle et qui ne manquent pas de pertinence. En effet, n'envisager que des aménagements temporaires de ces régimes permet de ne pas réinterroger le cadre global. Or, si les appels en faveur d'exceptions se multiplient, c'est qu'il faut changer de cadre.

De fait, la propriété intellectuelle est le plus souvent présentée comme un stimulant à l'innovation, mais cette façon de présenter les choses n'est pas suffisamment précise : si l'on s'en tient aux faits, la propriété intellectuelle récompense seulement *certaines innovations*, orientant ainsi la recherche vers un *certain type d'innovations* et orientant préférentiellement la production vers un *certain type de produits*, et cela de façon d'autant plus générale (et parfois dommageable) qu'elle est promue au moyen de politiques d'incitation de dépôts de brevets et autres droits de propriété intellectuelle jusque dans les laboratoires universitaires et publics. Or les techniques qui rencontrent les véritables besoins publics ne doivent pas nécessairement être innovantes, au sens de « protégeables au moyen de droits de propriété intellectuelle ». Les réglementations en matière de protection de la propriété intellectuelle, instiguées par le secteur privé, orientent et restreignent la recherche vers des solutions innovantes essentiellement rémunératrices pour ce secteur (des « solutions » qui n'en ont parfois que le nom autoproclamé[38], comme en témoigne par exemple le recours à des variétés « modernes » accusées de contribuer à l'érosion génétique ou le développement de traitements « innovants » aux effets iatrogènes), au détriment de solutions ou de certains éléments de solutions qui existent peut-être déjà dans le domaine public ou pourraient être développés au sein d'un domaine public élargi. En plus de freiner l'accès à d'éventuelles innovations fondamentales, c'est là que réside l'effet pervers majeur des systèmes de protection de la propriété intellectuelle. Et cet effet pervers n'est aucunement pris en compte par les actuelles propositions d'aménagements temporaires des régimes de protection de la propriété intellectuelle.

Il en résulte que c'est vers une remise en question plus radicale des régimes de protection de la propriété intellectuelle dans certains domaines du savoir que la réflexion devrait plutôt s'orienter. Cette remise en question de la propriété intellectuelle, justifiée par les arguments philosophiques exposés dans la deuxième section de cet article et par les constats posés dans les sections 2.3 et 3, est liée à la nécessité d'un savoir ouvert.

38. Et pour lesquelles on peut déplorer qu'un excès de confiance soit accordé au marketing « scientifique » des entreprises privées.

L'urgence en matière d'érosion de la biodiversité et d'autonomie alimentaire des peuples, de même que l'urgence sanitaire (qui n'est pas propre à la COVID-19) rendent les évolutions proposées en faveur d'un savoir ouvert et d'une remise en question des régimes de protection de la propriété intellectuelle de plus en plus pressantes. Il n'est pas interdit de penser que le même raisonnement vaut également pour l'urgence climatique.

Les impacts préjudiciables de certains droits de propriété intellectuelle sur la biodiversité agricole exposés à la section 2 de cet article et qui datent de 2016 méritent de faire l'objet d'une mise à jour et d'une veille attentive. Les impacts des brevets sur l'accès aux traitements essentiels, voire sur l'orientation des recherches, dans le cadre de la crise sanitaire liée à la COVID-19, n'ont été que suggérés dans la section 3 de cet article : ils méritent assurément d'être étudiés de façon approfondie. Quant aux impacts des régimes de protection de la propriété intellectuelle sur la diffusion des innovations susceptibles de contribuer à la lutte contre les changements climatiques, ils méritent également une étude sérieuse. Je me propose de partir de cet article, considéré comme une première étape, révisable, mais déjà solide, pour approfondir les problématiques susmentionnées et proposer de premières conclusions d'ici juin 2022.

6. Bibliographie

Abecassis, P., & Coutinet, N. (2015). Médicaments génériques : pivot de la reconstruction de l'industrie pharmaceutique. *Revue de la Régulation*, 17. Récupéré le 9/4/21 de https://journals.openedition.org/regulation/11143

AFP (2020). *COVID-19 : la moitié des futures doses de vaccins déjà réservées par les pays riches*. Récupéré le 9/4/21 de *Les Echos* : https://www.lesechos.fr/monde/enjeux-internationaux/covid-la-moitie-des-futures-doses-de-vaccins-deja-reservees-par-les-pays-riches-1243199

AFP (2020). *Supprimer les brevets sur les vaccins, une « fausse bonne idée »*. Récupéré le 9/4/2021 de *Le Point* : https://www.lepoint.fr/sante/supprimer-les-brevets-sur-les-vaccins-une-fausse-bonne-idee-07-02-2021-2412934_40.php

AFP/Belga (2020). *Un partage « volontaire » de vaccin ? L'OMS va trop loin pour les États-Unis, pas assez pour Oxfam.* Récupéré le 9/4/21 de *Le Soir* : https://www.lesoir.be/301920/article/2020-05-19/un-partage-volontaire-de-vaccin-loms-va-trop-loin-pour-lesetats-unis-pas-assez

Aigrain, P. (2020), *Où sommes-nous enfermés ?* Récupéré le 9/4/2021 de Les Communs d'abord : https://www.les-communs-dabord.org/ou-sommes-nous-enfermes-philippe-aigrain-12-avril-2020/

Amnesty (2020). *OMC : l'incapacité des États à lever des règles commerciales clés risque de freiner la réponse mondiale au COVID-19*. Récupéré le 9/4/21 de https://

www.amnesty.org/fr/latest/news/2020/10/wto-states-waiver-trade-rules-for-covid19-vaccine

Beaudor, G., & Preux, A. (2020). *Propriété intellectuelle et santé publique : la COVID-19, occasion inespérée d'envisager un nouveau système de mutualisation des brevets en temps de pandémie*. Récupéré le 9/4/2021 de *Le Grand Continent* : https://legrandcontinent.eu/fr/2020/06/11/propriete-intellectuelle-et-sante-publique-la-covid-19-occasion-inesperee-denvisager-un-nouveau-systeme-de-mutualisation-des-brevets-en-temps-de-pandemie/

Belga (2020). *Coronavirus : les 193 pays de l'ONU réclament un « accès équitable » aux « futurs vaccins »*. Récupéré le 15/04/20 de rtbf.be

Belga (2021). *Coronavirus : abandonner les brevets n'aidera pas à produire plus de vaccins selon la Fédération internationale de l'industrie pharmaceutique*. Récupéré le 9/4/2021 de RTBF : https://www.rtbf.be/info/economie/detail_coronavirus-abandonner-les-brevets-n-aidera-pas-a-produire-plus-de-vaccins-selon-la-federation-internationale-de-l-industrie-pharmaceutique?id=10704388

Belleflamme, P. (2008). How efficient is the patent system ? A general appraisal and an application to the pharmaceutical sector. Dans Gosseries, A., Marciano, A., & Strowel, A., *Intellectual Property and Theories of Justice* (pp. 210-230). New York : Palgrave Macmillan.

Bollier, D. (2014). *La renaissance des communs.* Paris : Éditions Charles Léopold Mayer. Récupéré le 14/12/2015 de http://docs.eclm.fr/pdf_livre/364RenaissanceDesCommuns.pdf

Boyle, J. (2008). *The public domain : enclosing the commons of the mind*. Récupéré le 14/12/2015 de http://thepublicdomain.org/thepublicdomain1.pdf

Buydens (2006). Remèdes à la privatisation de l'information par la propriété industrielle : le domaine technique. *Revue internationale de droit économique*, 20(4), 433-474. Récupéré le 26/4/2021 de CAIRN : https://www.cairn.info/revue-internationale-de-droit-economique-2006-4-page-433.htm

Buydens, M. (2012). *La propriété intellectuelle : évolution historique et philosophique*. Bruxelles : Bruylant.

Chomsky, N. (2005). *Comprendre le pouvoir*. Bruxelles : Ed. Aden.

Collectif de professionnels de la santé (2020). *Pour une appropriation citoyenne active et solidaire de la santé.* Récupéré le 15/04/21 de Les Communs d'abord : https://www.les-communs-dabord.org/le-medicament-un-bien-commun/

Condorcet, N. (1847). *Des privilèges de la propriété littéraire*, dans *Œuvres de Condorcet* (pp. 308-314). Paris : Firmin Didot.

Coriat, B. (2015). *Le retour des communs : la crise de l'idéologie propriétaire*. Paris : Les Liens qui libèrent.

Corporate Europe Observatory (2020). *L'industrie contrôle l'usage de milliards d'euros de fonds européens pour la recherche et néglige l'intérêt public*. Récupéré le 9/4/21 de https://corporateeurope.org/en/in-the-name-of-innovation

Coutinet, N., & Lorrain, F.G. (2020). *Petit précis de géopolitique des vaccins et des médicaments*. Récupéré le 9/4/21 de *Le Point* : https://www.lepoint.fr/sante/petit-precis-de-geopolitique-des-vaccins-et-des-medicaments-11-08-2020-2387337_40.php

Dardot, P., & Laval, C. (2020). *L'épreuve politique de la pandémie.* Récupéré le 9/4/2021 de Les Communs d'abord : https://www.les-communs-dabord.org/lepreuve-politique-de-la-pandemie-pierre-dardot-et-christian-laval

Diderot, D. (1763). *Lettre sur le commerce de la librairie. Lettre historique et politique adressée à un magistrat sur le commerce de la librairie, son état ancien et actuel, ses règlements, ses privilèges, les permissions tacites, les censeurs, les colporteurs, le passage des ponts et autres objets relatifs à la police littéraire*. Récupéré le 14/12/2015 de http://classiques.uqac.ca/classiques/Diderot_denis/lettre_commerce_livre/lettre_com_livres.pdf

Dussolier, S. (2008). Le domaine public garant de l'intérêt public en propriété intellectuelle. Dans *L'intérêt général et l'accès à l'information en propriété intellectuelle* (pp. 117-147). Bruxelles : Bruylant.

Dusollier, S. (2009). The public domain in intellectual property : beyond the metaphor of a domain. Dans *Icfai University (2009). Intellectual property and public domain* (pp. 31-69). Hyderabad : Icfai University Press. Récupéré le 14/12/2015 de http://www.crid.be/pdf/public/7229.pdf

Elysée (2020). *Pour une mobilisation mondiale contre le virus*. Récupéré le 9/4/2021 de https://www.elysee.fr/emmanuel-macron/2020/05/03/pour-une-mobilisation-mondiale-contre-le-virus

Encouaca, D. (2012). Le système des brevets : idées reçues et critiques. Dans *La documentation française*, nov. 2012, 11-18. Récupéré le 2/5/21 de https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00750817/document

France Culture (2020). *Le vaccin contre la COVID pourra-t-il rester un bien public ?* Récupéré le 9/4/21 de https://www.franceculture.fr/emissions/le-temps-du-debat/le-vaccin-contre-la-covid-pourra-t-il-rester-un-bien-public

French.China.org.CN (2020). *La Chine accorde son premier brevet pour un vaccin expérimental contre le COVID-19.* Récupéré le 9/4/21 de http://french.china.org.cn/china/txt/2020-08/18/content_76610721.htm

Freud, S. (1986). *Métapsychologie*. Paris : Gallimard. (édit. orig. : 1940).

Gagnon, M.-A. (2008). *Les sociétés pharmaceutiques contre l'État*. Récupéré le 13/11/2015 de http://www.ieim.uqam.ca/IMG/pdf/Societes_contre_l_Etat.pdf

Gagnon, M.-A. (2010). *Les droits de propriété intellectuelle sont-ils un écueil pour la modernité industrielle ? Le cas des brevets dans l'industrie pharmaceutique*. Récupéré le 31/07/2015 de http://seminaire.samizdat.net/IMG/pdf/Gagnon_pour_Capitalisme_Cognitif.pdf

Galloux, J.-C. (1991). L'impérialisme du brevet. Dans Univ. de Montréal, Fac. de Droit, Centre de recherche en droit public, *Nouvelles technologies et propriété* (pp. 111-138). Montréal : Ed. Thémis.

Goethals, C., Wunderle, M. (2018). Le secteur pharmaceutique en Belgique. *Courrier hebdomadaire du CRISP,* (2366-2367), 5-90. Récupéré le 9/4/21 de CAIRN : https://www.cairn.info/revue-courrier-hebdomadaire-du-crisp-2018-1-page-5.htm

Grelier, A. (2020). *Les lobbys plus forts que jamais pendant la crise du coronavirus*. Récupéré le 9/4/21 de France Culture : https://www.franceculture.fr/economie/les-lobbys-plus-forts-que-jamais-pendant-la-crise-du-coronavirus

Hegel, G. W. F. (1989). *Principes de la philosophie du droit (1820)*. Paris : Gallimard (édit. orig. : 1820).

Hood, L. (2020). *Médicaments : la pandémie de COVID-19 remet en question le droit de la propriété intellectuelle*. Récupéré le 9/4/21 de *The Conversation* : https://theconversation.com/medicaments-la-pandemie-de-covid-19-remet-en-question-le-droit-de-la-propriete-intellectuelle-141650

Journalter (2020). *Pour un plan national pour la culture ouverte, l'éducation ouverte et la santé ouverte.* Récupéré le 7/4/21 de https://journalter.org/2020/04/04/pour-un-plan-national-pour-la-culture-ouverte-leducation-ouverte-et-la-sante-ouverte/

Kant, E. (1995). *Qu'est-ce qu'un livre ? Textes de Kant et de Fichte* (traduits et présentés par J. Benoist). Paris : PUF.

Knaebel, R. (2020). *COVID-19 : pour des traitements accessibles à tous, casser les monopoles, socialiser la production*. Récupéré le 9/4/21 de Bastamag : https://www.bastamag.net/Covid-traitement-vaccin-industrie-pharmaceutique-monopole-brevets-chloroquine?_ga=2.141853691.812150812.1593339104-1741126898.1592733854

Lallement, R. (2007). *Note de veille*, n° 81. Paris : Centre d'analyse stratégique français.

Lazaro, A. (2020). *Derrière la recherche d'un vaccin contre le coronavirus se cache la bataille des brevets*. Récupéré le 9/4 de Euronews : https://fr.euronews.com/2020/07/02/derriere-la-recherche-d-un-vaccin-contre-le-coronavirus-se-cache-la-bataille-des-brevets

Le Goff, J. (2020). *Repenser les « communs »*. Récupéré le 9/4/2021 de Les Communs d'abord : https://www.les-communs-dabord.org/repenser-les-communs-par-jacques-le-goff/

Le Monde (2020). *S'unir pour un vaccin contre le Covid-19 accessible à tous*. Récupéré le 9/4/2021 de https://www.lemonde.fr/idees/article/2020/05/14/s-unir-pour-un-vaccin-contre-le-covid-19-accessible-a-tous_6039591_3232.html

Le Monde (2020). *Coronavirus : les dessous de la course aux vaccins*. Récupéré le 9/4/21 de https://www.lemonde.fr/podcasts/article/2020/06/27/coronavirus-les-dessous-de-la-course-au-vaccin_6044402_5463015.html

Les Amis de la Terre (2020). *Lobbying : l'épidémie cachée.* Récupéré le 9/4/21 de https://www.amisdelaterre.org/lobbycovid/

Lessig, L. (2004). *Culture libre* (traduction française). Récupéré le 14/12/2015 de http://www.generationcyb.net/IMG/pdf/Culture_Libre-Lawrence_Lessig.pdf

Lessig, L. (2005). *L'avenir des idées*. Lyon : PUL.

Locke, J. (1795). *Traité du gouvernement civil* (traduction française) (édit. orig. : 1690). Récupéré le 14/12/2015 de http://classiques.uqac.ca/classiques/locke_john/traite_du_gouvernement/traite_du_gouv_civil.pdf

Machlup, F., Penrose, E. (1950). The Patent Controversy in XIXth Century. Dans *Journal of Economic History*, 10 (1), 1-29.

Macpherson, C.B. (2004). *La théorie politique de l'individualisme possessif*. Paris : Gallimard (édit. orig. : 1962).

Marx, K. (1843). *La question juive*. Récupéré le 8/8/2015 de www.marxists.org

Marx, K. (1844). *Les Manuscrits de 1844*. Récupéré le 8/8/2015 de www.marxists.org

Marx, K. (1845). *La Sainte Famille*. Récupéré le 8/8/2015 de www.marxists.org

Marx, K. (1848). *Le Manifeste*. Récupéré le 8/8/2015 de www.marxists.org

Marx, K. (1846). *Misère de la philosophie*. Récupéré le 8/8/2015 de www.marxists.org

Marx, K. (1846). *L'idéologie allemande*. Récupéré le 8/8/2015 de www.marxists.org

Marx, K. (1857). *Introduction à la critique de l'économie politique.* Récupéré le 8/8/2015 de www.marxists.org

Marx, K. (1867). *Le Capital* (livre I). Récupéré le 8/8/2015 de www.marxists.org

Michalopoulos, S. (2021). *Les brevets ne sont pas un obstacle à l'accélération de la production de vaccins, selon l'UE*. Récupéré le 9/4/21 de Euractiv : https://www.euractiv.fr/section/sante-modes-de-vie/news/patents-are-not-an-obstacle-to-ramp-up-covid-19-vaccines-production-eu-says/

Mill, J.S. (1864). *Principes d'économie politique.* Paris : Guillaumin et Cie.

Mill J.S. (1990). *De la liberté*. Paris : Gallimard (édit. orig. : 1859).

Minano, L. (2020). *Les États européens sont pour l'instant incapables de garantir un accès équitable à un futur vaccin contre le COVID-19*. Récupéré le 9/4 de Investigate Europe : https://www.investigate-europe.eu/fr/2020/les-etats-europeens-sont-pour-linstant-incapables-de-garantir-un-acces-equitable-a-un-futur-vaccin-contre-le-covid/

Mossoff, A. (2020). *Patent term extensions will help speed up development of coronavirus drugs.* Récupéré le 9/4/21 de *The Washington Times* : https://www.washingtontimes.com/news/2020/mar/12/patent-term-extensions-will-help-speed-up-developm/

MSF (2020). *MSF calls for no patents or profiteering on COVID-19 drugs and vaccines.* Récupéré le 9/4/2021 de https://www.msf.org/no-profiteering-covid-19-drugs-and-vaccines-says-ms

Nietzsche, F. W. (1903). *Ainsi parlait Zarathoustra*. Dans *Œuvres complètes de Frédéric Nietzsche* (traduction française) (vol. 9, pp. 45-47). Paris : Société du Mercure de France (édit. orig. : 1883).

Nozick, R. (1988). *Anarchie, État et utopie* (traduction française). Paris : PUF (édit. orig. : 1974).

Observatoire des multinationales (2020). *Total, Sanofi... tous accros aux aides publiques ?* Récupéré le 9/4/21 de https://multinationales.org/Total-Sanofi-tous-accros-aux-aides-publiques

Observatoire des multinationales (2020). *Pharma Papers.* Récupéré le 9/4/21 de https://www.bastamag.net/webdocs/pharmapapers/

OCDE (2010). *Optimiser les dépenses de santé*. OCDE Publishing.

OMC (2001). *Déclaration sur l'Accord sur les ADPIC et la santé publique*. Récupéré le 9/4/2021 de https://www.wto.org/french/tratop_f/trips_f/ta_docs_f/WT-Min01DEC2.pdf

OMC (2017). *Modification des règles de l'OMC en matière de propriété intellectuelle afin de faciliter l'accès des pays pauvres à des médicaments abordables.* Récupéré le 9/4/2021 de https://www.wto.org/french/news_f/news17_f/trip_23jan17_f.htm

OMPI (2020). *Lancement par l'OMPI d'un instrument de suivi des informations relatives à la politique en matière de propriété intellectuelle mise en œuvre par les États membres pendant la pandémie de COVID 19*. Récupéré le 9/4/21 de https://www.wipo.int/pressroom/fr/articles/2020/article_0010.html

OMPI (2020). *Some Considerations on Intellectual Property, Innovation, Access and COVID-19*. Récupéré le 9/4/21 de https://www.wipo.int/about-wipo/en/dgo/news/2020/news_0025.html

OMS (2020). *Faire de la riposte à la COVID-19 un bien public commun*. Récupéré le 9/4/2021 de https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/solidarity-call-to-action/solidarity-call-to-action-01-june-2020-fr.pdf?sfvrsn=8b24dd21_2

Open Access Declaration against COVID-19 (2020). Récupéré le 9/4/21 de https://www.gckyoto.com/covid-2

Orsi (2021). *Il faut aller au-delà de la libération des brevets*. Récupéré le 4/5/21 de alternatives économiques : https://www.alternatives-economiques.fr/acces-aux-vaccins-faut-aller-dela-de-liberation-brevets/00098379

Ostrom, E. (2010). *La gouvernance des biens communs : pour une nouvelle approche des ressources naturelles*. Bruxelles : De Boeck.

Oxfam (2018). *Ordonnance pour la pauvreté*. Récupéré le 9/4/21 de https://www.oxfamsol.be/fr/ordonnance-pour-la-pauvrete-les-societes-pharmaceutiques-entre-evasion-fiscale-prix-abusifs-et)

Petitjean, O. (2020). *COVID-19 : ces consultants au cœur de la « défaillance organisée » de l'État.* Récupéré le 9/4/21 de l'Observatoire des multinationales : https://multinationales.org/Covid-19-ces-consultants-au-coeur-de-la-defaillance-organisee-de-l-Etat

Pharo, P. (2020). *La crise du COVID-19 a remis au premier plan les obligations du commun*. Récupéré le 2/5/21 de https://www.marianne.net/economie/la-crise-du-covid-19-remis-au-premier-plan-les-obligations-du-commun

Pour Press (2020). *Faire du vaccin anti-COVID-19 un bien public mondial*. Récupéré le 9/4/2021 de https://pour.press/faire-du-vaccin-anti-covid-19-un-bien-public-mondial/

Proudhon, P.-J. (1832). *Les majorats littéraires*. Bruxelles : Office de pub1icité.

Proudhon, P.-J. (2009), *Qu'est-ce que la propriété ? (1840)*. Paris : Librairie générale française.

Proudhon, P.-J. (1866). *Théorie de la propriété*. Dans *Œuvres posthumes de P.-J. Proudhon. Vol. 1* (pp. 5-332). Paris : Librairie internationale.

PTB (2020). *Le PTB lance une pétition européenne en faveur de l'accessibilité gratuite pour tous d'un vaccin ou un traitement contre le Covid-19*. Récupéré le 15/04/21 de https://www.ptb.be/le_ptb_lance_avec_12_autres_partis_une_p_tition_europ_enne_pour_l_acc_s_au_futur_traitement_contre_le_covid_19

Public Eye (2020). *COVID-19 : les États doivent s'engager pour un accès équitable aux technologies médicales*. Récupéré le 9/4/21 de https://www.publiceye.ch/fr/coin-medias/communiques-de-presse/detail/covid-19-acces-equitable-aux-technologies-medicales

Revue Progressistes (2020). *Appel pour un futur vaccin contre le COVID-19 libre de tout brevet.* Récupéré le 9/4/2021 de https://revue-progressistes.org/2020/05/15/appel-pour-un-futur-vaccin-contre-le-covid-19-libre-de-tout-brevet/

Smith, A. (1991). *La richesse des nations.* Paris : Flammarion (édit. orig. : 1776).

Soulas, N., Les stratégies alternatives des labos pharmaceutiques. *L'Expansion Management Review*, (152), 30-35. Récupéré le 9/4/21 de CAIRN : https://www.cairn.info/revue-l-expansion-management-review-2014-1-page-30.htm

Stallman, R. (1985). *Manifeste GNU.* Récupéré le 14/12/2015 de Free Software Supporter : http://www.gnu.org/gnu/manifesto.html

Tilman, V. (2016). *Propriété intellectuelle, soutenabilité et biens communs. Approche philosophique et étude de cas sur l'appropriation de la biodiversité agricole* (thèse de doctorat). Université de Namur, Namur. En libre accès sur https://researchportal.unamur.be/files/13801054/th_se_Val_rie_Tilman_version_apr_s_d_fense.pdf

Tilman, V. (2020). *Propriété intellectuelle, soutenabilité et biens communs à l'ère de la crise écologique globale et de la COVID-19* (portfolio réalisé pour l'obtention du Certificat en développement durable). Université de Namur, Namur.

The Times of Israël (2020). *Un brevet américain accordé à un chercheur israélien pour un éventuel vaccin*. Récupéré le 9/4/21 de https://fr.timesofisrael.com/un-brevet-americain-accorde-a-un-chercheur-israelien-pour-un-eventuel-vaccin/

Tonero C. (2021). *Vaccins : « Ce n'est pas l'humain qui est au centre, c'est le profit »*. Récupéré le 9/4/21 de RTBF : https://www.rtbf.be/info/societe/detail_vaccins-ce-n-est-pas-l-humain-qui-est-au-centre-c-est-le-profit?id=10684668

UNESCO (2020). *Rapport préliminaire sur l'avant-projet de recommandation de l'UNESCO sur une science ouverte*. Récupéré le 9/4/21 de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374409_fre

Vivant, M. (2005). *Le droit des brevets*. Paris : Ed. Dalloz.

Vivant, M. (2007). *Brevet, innovation et intérêt général.* Paris : Larcier.

Wallach, L.M. (2020). *Libre-échange, une page à tourner.* Récupéré le 9/4/21 de *Le Monde diplomatique* : https://www.monde-diplomatique.fr/2020/05/WALLACH/6175

Revue des Questions Scientifiques, 2021, 192 (1-2) : 185-192

Analyse critique

De Babylone à Alexandrie, d'Alexandrie à Rome

L'astronomie « hellénistique »

Anne Tihon
Faculté de philosophie, arts et lettres
Université catholique de Louvain
anne.tihon@uclouvain.be

Hellenistic Astronomy : the Science in its Contexts / edited by Alan C. Bowen and Francesca Rochberg. – Leiden ; Boston : Brill, 2020. – xxxii + 751 p. – (Brill's Companions in Classical Studies). – 1 vol. électronique. – 197,00 €. – isbn 978-90-04-40056-6.

Faire le compte-rendu d'un ouvrage comme celui-ci n'est pas une tâche facile. D'un côté, on est impressionné par l'énorme quantité d'érudition qu'il présente et par la liste des chercheurs hautement qualifiés qui y ont collaboré. Mais, d'un autre côté, on se trouve tiraillé entre des impressions contradictoires, qui vont de l'admiration pour une entreprise aussi vaste à l'agacement dû, notamment, à un plan dont la logique n'apparaît pas vraiment convaincante.

Le titre *Hellenistic Astronomy* laisse attendre un aperçu de l'astronomie grecque qui va de la mort d'Alexandre à la conquête romaine, en 31 a. C. Aussi est-on très surpris de voir que le mot « *Hellenistic* » est compris comme une période allant de 300 a. C. jusqu'en 750 de notre ère. Les éditeurs scientifiques s'en expliquent dans l'introduction : le terme « hellénistique » ne doit pas être pris dans un sens historique, mais, si j'ai bien compris, dans le sens d'un phénomène transculturel, une ouverture, les unes aux autres, des différentes civilisations de la Méditerranée et du Proche-Orient qui commence après les

conquêtes d'Alexandre et qui se maintient, selon les auteurs, jusqu'au VIIIe siècle. Je pense qu'une période aussi vaste aurait mérité une introduction historique. Qu'il nous soit permis d'en proposer une.

L'époque hellénistique marque un changement considérable dans le monde grec ancien : dans un univers élargi, qui va donner naissance à une autre littérature, à un art nouveau, à une autre mentalité, de nouveaux centres intellectuels se créent dont le plus important est Alexandrie. Grâce à la politique des Lagides, à la fondation de la Bibliothèque et du Musée, on assiste à un essor extraordinaire des sciences. Les Ptolémée ont voulu rassembler les connaissances de toutes les nations, et ont commandité des traductions afin de connaître les traditions babyloniennes, égyptiennes, juives, ce qui a certainement facilité l'accès des savants grecs aux sources orientales et égyptiennes. Curieusement, aucun chapitre n'est consacré spécifiquement à l'époque hellénistique proprement dite : Autolycus, Aristarque, Apollonius, Ératosthène, Hypsicles, Théodose... sont mentionnés, mais ne sont pas appréhendés pour l'ensemble de leur œuvre (à l'exception d'Aratus, 10.11). La période romaine continue plus ou moins dans cet esprit jusqu'à Ptolémée (ca 130-150 p. C.), mais, dans les siècles qui suivent, l'esprit de recherche scientifique et la créativité si caractéristiques de l'époque hellénistique disparaissent sans que l'on puisse exactement expliquer pourquoi. Les IVe et Ve siècles ont été appelés, non sans raison, l'ère des commentateurs : en matière d'astronomie, on ne crée plus de nouvelles tables, de nouveaux systèmes ; les philosophes et les savants se rallient aux paramètres de Ptolémée, sans plus chercher à améliorer ses tables. Enfin, d'un point de vue historique, si la diffusion des connaissances scientifiques se poursuit surtout dans l'Empire romain d'Orient, notamment en Syrie, la cassure est brutale avec le monde latin qui se trouve coupé du monde grec après la rupture de Théodoric avec l'empereur byzantin Justin (vers 523-525). L'Italie est dévastée par les guerres et les jeunes Romains n'ont plus la possibilité d'aller étudier dans les écoles grecques d'Orient. Les grands textes scientifiques (Euclide, Archimède, Ptolémée...) ne leur sont plus accessibles, car il n'en existait pas de traductions latines. En fait, malgré le programme si large annoncé dans l'introduction, ce livre ne dépasse guère l'Antiquité tardive.

Mais laissons de côté cet excursus historique. Une autre difficulté pour appréhender ce *Companion* est le plan général de l'ouvrage, qui paraît assez compliqué et, pour tout dire, confus.

1. Pour les titres des chapitres et leur auteurs, voir la table des matières donnée en annexe.

Le livre s'ouvre par une partie intitulée *Part A. Technical Requirements*. Celle-ci est assez disparate : présentation de la sphère céleste (1), méthode de calcul du temps (2), mesures et calculs (3.1), trigonométrie (3.2), théorie des planètes (4.1), hypothèses dans l'astronomie gréco-romaine (4.2 et 3). Certains de ces chapitres sont très pédagogiques, et clairement exposés (*e.g.* 1 ; 3.1 ; 3.2 ; 4.1), mais d'autres ne paraissent pas à leur place ici, car trop spécialisés ou trop limités. Ainsi, le chap. 2 sur le calcul du temps (R. Hannah) parle surtout de la sphère céleste d'Aratos, du mécanisme d'Antikythera et du papyrus égyptien *PHib.* 27. Cela ne manque pas d'intérêt, mais on attendrait ici un exposé plus général. Le chap. 3.1 sur les mesures et calculs, remarquablement clair et précis, ne concerne que les textes babyloniens. Aucun chapitre ne parle systématiquement de la numération grecque et des procédés de calculs utilisés pour établir les tables astronomiques, des problèmes de fractions, etc. L'établissement des tables de Ptolémée suppose un nombre considérable de calculs : seuls des textes tardifs (Théon d'Alexandrie, Pappus, des scolies ou textes anonymes) expliquent les procédés de division, multiplication, extraction de racines carrées, interpolation, division des fractions, etc. Ces procédés étaient-ils vraiment utilisés ? Pourquoi le système sexagésimal n'est-il pas appliqué pour les heures ? Les chap. 4.2 et 3, notamment avec la question épineuse du sens du mot « Hypothèse », appartiennent plus à l'histoire et à la philosophie qu'à des *Technical Requirements*.

Une place très importante est dévolue à l'astronomie babylonienne, à juste titre, car son influence a été considérable sur l'astronomie mathématique grecque. N'aurait-il pas été plus simple de regrouper tous les chapitres qui traitent de l'astronomie babylonienne ? On aurait évité des redites, et le lecteur aurait pu trouver facilement une introduction très complète à l'astronomie et à l'astrologie babyloniennes, certains chapitres étant accessibles à tout lecteur, d'autres plus techniques et, en général, excellents (3.1 ; 4.6 ; 4.7 ; 5.1 ; 6.3 ; 7.2 ; 11.2 ; 12.2). L'astronomie égyptienne est moins représentée, mais présente également (4.8 ; 7.1 ; 11.1 ; 12.4). L'astronomie grecque antérieure à Ptolémée est traitée dans plusieurs chapitres (4.2 ; 4.3 et occasionnellement à de nombreux endroits). L'astronomie de Ptolémée est évidemment abondamment représentée soit directement, soit à propos d'un sujet plus général (4.4 ; 4.5; 5.2; 6.4...). Comme le montre la table des matières reprise ci-dessous, on trouve des sections sur les observations, l'astronomie romaine, les instruments — pourquoi le mécanisme d'Antikythera (9.2) est-il inclus dans une section appelée « *Contexts* » et non dans les instruments ? Même question pour 9.1, sur les cadrans solaires —, sur les cartes géographiques et les listes de villes — pourquoi celles-ci sont-elles placées dans les instruments astronomiques ? —, sur l'astro-

logie — pourquoi le chap. 8 de W. Hübner n'est-il pas placé dans la rubrique « *Astral Divination, and Natal Astrology* » ? —, l'hermétisme, l'astronomie dans le monde juif, les débuts du christianisme, la philosophie stoïcienne et néo-platonicienne.

Mes remarques critiques portent sur l'agencement général du volume, pas sur les chapitres en particulier. J'en ai lu beaucoup avec plaisir, en appréciant la clarté, l'érudition et le sens pédagogique de leurs auteurs. Les lecteurs pourront certainement en tirer grand profit, selon leurs intérêts particuliers. On peut bien sûr émettre quelques remarques de détail. Par exemple, à propos des instruments de Ptolémée (6.4), Dennis Duke aurait pu évoquer les dessins décrits dans le manuel des *Tables Faciles* de Ptolémée (Heiberg, 1907, pp. 165-169), qui permettaient de construire des maquettes en deux dimensions pour trouver la longitude du Soleil, de la Lune et des cinq planètes sans effectuer de calculs ; les descriptions de Ptolémée semblent constituer les ancêtres des équatoires du Moyen Âge. Une maquette de ce genre est décrite par Proclus, au moins pour le Soleil (Manitius, 1909, p. 74). Pour l'astrolabe armillaire, la description donnée par Théon au livre V du *Commentaire à l'Almageste* n'est pas encore éditée (Tihon, 1987). À propos des constructions décrites dans les *Hypothèses des planètes*, D. Duke suggère que Ptolémée n'a pas essayé de construire lui-même les mécanismes décrits, ce qui est fort probable (6.4, p. 257). En ce qui concerne ce traité, beaucoup de spécialistes pensent que Ptolémée voulait décrire la réalité physique de ses hypothèses (James Evans : 4.4[2]). Mais les mots « φύσις » ou « φυσικός » ne figurent nulle part dans les *Hypothèses*. Cette idée vient surtout de la traduction arabe qui a, semble-t-il, infléchi le sens du texte grec[3]. L'éclipse de Soleil du 16 juin 364 p. C. que Théon d'Alexandrie dit avoir observée est mentionnée par R. Kremer (5.2, pp. 215-216). On discute beaucoup à propos de cette éclipse, et R. Kremer a raison de souligner qu'il n'existe aucune édition critique du livre VI du *Commentaire à l'Almageste* de Théon[4]. Et, pour revenir aux instruments, l'astrolabe plan n'est évoqué que dans une note (8 :

2. À propos des *Hypothèses des Planètes* : « In a separate work written after the Almagest, however, Ptolemy turns directly to the question of physical representation » (p. 121).
3. À ce sujet, j'avais interrogé naguère le regretté Professeur Paul Kunitzsch, qui m'avait envoyé une réponse très nuancée. Voir aussi Moureau (2014).
4. Les heures données par Théon pour son calcul selon les *Tables Faciles* diffèrent de 12 à 15 min. selon les témoins (édition de Bâle / *Laurentianus* 28/18) et plus intriguant, lorsque Théon calcule les prosneuses de cette éclipse, l'heure du commencement de l'éclipse devient 7 h. ½ 1/15 au lieu de 8 h. ½ 1/3. Je ne sais comment expliquer cette distorsion. Le chanoine Adolphe Rome avait annoncé que l'édition du livre VI du *Commentaire à l'Almageste* était prête pour l'impression, mais je n'ai pas retrouvé cette édition dans ses papiers conservés aux Archives de l'Université catholique de Louvain (Louvain-la-Neuve).

Hübner, p. 315, note 102) qui en attribue la plus ancienne description à Théon d'Alexandrie, ce qui n'est pas démontré[5]. Étant donné la diffusion très large que cet instrument a connue par la suite et son usage par les astrologues, il aurait peut-être été judicieux d'en dire quelques mots.

Une dernière remarque enfin : il n'est question nulle part du P. Fouad inv 267A. Ce document édité et analysé en 2014 par Jean-Luc Fournet et moi-même apporte des éléments nouveaux sur l'astronomie grecque entre Hipparque et le IIe siècle de notre ère. Il montre que des tables très sophistiquées circulaient à Alexandrie vers 130 p. C., basées sur les observations d'Hipparque et utilisant des paramètres différents de ceux que Ptolémée lui attribue : valeur de la précession de 1° en 78 ans, longueur de l'année sidérale de 365 j ¼ + 1/102, longueur de l'année tropique de 365 j ¼ - 1/309, utilisation de grandes périodes de 30.000 et de 7.000 années égyptiennes, sans parler de la mention d'une observation d'Hipparque du solstice d'été du 26 juin 158 a. C. Basées sur un modèle à excentrique, ces tables, dues à un astronome inconnu, méritaient certainement l'attention des historiens de l'astronomie « hellénistique ». Hipparque est cité plus de 200 fois dans ce volume, mais le seul document nouveau découvert à son sujet est ici ignoré. Est-il si difficile de remettre en question l'interprétation donnée par Ptolémée des paramètres d'Hipparque ?

Détails typographiques enfin : l'usage d'une police grecque avec sigma lunaire ne se justifie pas ici : il ne s'agit pas d'éditer des documents épigraphiques ou papyrologiques. Quant à la mode d'appeler « Chapter 0 » les *Prolegomena*, disons qu'elle manque un peu d'élégance !

Annexe : Table des matières du volume analysé

0 Prolegomena to the Study of Hellenistic Astronomy, *Alan C. Bowen and Francesca Rochberg*

Part A
Technical Requirements

1 The Celestial Sphere, *Clemency Montelle*

5. Cette attribution vient de Neugebauer (1949, 1983). À ma connaissance, Théon ne mentionne jamais cet instrument dans ses œuvres.

2 Methods of Reckoning Time, *Robert Hannah*

Quantitative Tools

3.1 Techniques of Measurement and Computation, *Mathieu Ossendrijver*

3.2 Planar and Spherical Trigonometry, *Glen Van Brummelen*

Theory of the Sun, Moon, and Planets

4.1 Fundamentals of Planetary Theory, *Nathan Sidoli*

4.2 Hypothesis in Greco-Roman Astronomy, *Alan C. Bowen*

4.3 Some Early Hypotheses in Greco-Roman Astronomy, *Alan C. Bowen*

4.4 The Ptolemaic Planetary Hypotheses, *James C. Evans*

4.5 The Hellenistic Theory of Eclipses, *Clemency Montelle*

4.6 Hellenistic Babylonian Planetary Theory, *Mathieu Ossendrijver*

4.7 The Babylonian Contribution to Greco-Roman Astronomy, *Francesca Rochberg*

4.8 Hellenistic Egyptian Planetary Theory, *Micah T. Ross*

Part B
Observations, Instruments, and Issues

Observational Foundations

5.1 The Observational Foundations of Babylonian Astronomy, *Lis Brack-Bernsen*

5.2 Experience and Observation in Hellenistic Astronomy, *Richard L. Kremer*

Astronomical Instruments

6.1 Hellenistic Surveying Instruments, *Tracey E. Rihll*

6.2 Hellenistic Maps and Lists of Places, *Klaus Geus*

6.3 Star-Lists from the Babylonians to Ptolemy, *Gerd Graßhoff*

6.4 Ptolemy's Instruments, *Dennis W. Duke*

Thematic Questions

7.1 Issues in Hellenistic Egyptian Astronomical Texts, *Anthony Spalinger*

7.2 The Texts and Aims of Babylonian Astronomy, *Hermann Hunger*

7.3 Issues in Greco-Roman Astronomy of the Hellenistic Period, *Alan C. Bowen*

Part C
Contexts

8 The Professional ἀστρολόγος, *Wolfgang Hübner*

Hellenistic Astronomy in Public Service

9.1 The Sundial and the Calendar, *Robert Hannah*

9.2 The Antikythera Mechanism, *James C. Evans*

9.3 Hellenistic Astronomy in Medicine, *Dorian Gieseler Greenbaum*

Hellenistic Astronomy in Literature

10.1 Aratus and the Popularization of Hellenistic Astronomy, *Stamatina Mastorakou*

10.2 The Authority of the Roman Heavens, *Alfred Schmid*

Hellenistic Astronomy in the Training and Work of Priests

11.1 Hellenistic Astronomy and the Egyptian Priest, *Alexandra von Lieven*

11.2 Hellenistic Astronomy and the Babylonian Scribal Families, *Mathieu Ossendrijver*

Astral Divination and Natal Astrology

12.1 The Hellenistic Horoscope, *Dorian Gieseler Greenbaum*

12.2 Hellenistic Babylonian Astral Divination and Nativities, *Francesca Rochberg*

12.3 Hellenistic Horoscopes in Greek and Latin: Contexts and Uses, *Stephan Heilen*

12.4 Demotic Horoscopes, *Micah T. Ross*

Theological Contexts

13.1 Hellenistic Astronomy in Early Judaic Writings, *James C. VanderKam*

13.2 Astral Divination in the Dead Sea Scrolls, *Helen R. Jacobus*

13.3 Hellenistic Astronomy in Early Christianities, *Nicola Denzey Lewis*

13.4 Cosmology in Mandaean Texts, *Siam Bhayro*

13.5 Astral Discourse in the Philosophical Hermetica (Corpus Hermeticum), *Christian Wildberg*

Hellenistic Astronomy in the Philosophical Schools

14.1 Astronomy and Divination in Stoic Philosophy, *Giuseppe Cambiano*

14.2 Plotinus on the Motion of the Stars, *James Wilberding*

Historical Glossary of Important Terms in Hellenistic Astronomy

Bibliography

Index of Passages

Index of Names

Index of Subjects

Bibliographie

Fournet, J.-L., & Tihon, A. (2014). *Conformément aux observations d'Hipparque : Le papyrus astronomique Fouad 267A* (annex by R. Mercier). (Publications de l'Institut orientaliste de Louvain, 67). Louvain-la-Neuve.

Heiberg, J. L. (ed.) (1907). *Claudii Ptolemaei opera quae exstant omnia*, vol. 2 : *Opera astronomica minora*. Leipzig : Teubner.

Manitius, C. (ed.) (1909). *Procli Diadochi Hypotyposis Astronomicarum positionum*. Leipzig : Teuner.

Moureau, S. (2014). Note on a passage of the Arabic translation of Ptolemy's Planetary Hypothèses. Dans L. A. Guichard, J. L. García Alonso, & M. Paz de Hoz, *The Alexandrian Tradition, Interactions between Science, Religion, and Literature* (pp. 93-95). Bern ; Berlin ; Bruxelles ; Frankfurt-am-Main ; New York ; Oxford ; Wien : Peter Lang.

Neugebauer, O. (1949). The early History of the Astrolabe. *Isis*, 40, 240-256. Repris dans Neugebauer, O. (1983). *Astronomy and History : Selected essays*, New York ; Berlin ; Heidelberg ; Tokyo : Springer Verlag.

Tihon, A. (1987). Le livre V retrouvé du Commentaire à l'Almageste de Théon d'Alexandrie. *L'Antiquité classique*, 56, 201-218.

Revue des Questions Scientifiques, 2021, 192 (1-2) : 193-198

Analyse critique

L'édition critique du *Liber Abbaci* de Fibonacci

Fabio Acerbi
Centre national de la recherche scientifique
UMR8167 Orient et Méditerranée, équipe « Monde Byzantin », Paris
fabacerbi@gmail.com

Fibonacci (Leonardi Bigolli Pisani vulgo), *Liber Abbaci*. – Firenze : Olschki, 2020. – cxviii, 824 p. – 1 vol. relié de 17 × 24 cm. – 300,00 €. – isbn 978-8822266583.

Le *Liber Abbaci* de Leonardo Pisano, mieux connu comme Fibonacci[1], est la plus riche et la plus connue encyclopédie mathématique du Moyen Âge. Nous en connaissons deux rédactions, dont nous lisons en entier seulement la deuxième, apparemment publiée en 1228 ; de la première, datée de 1202, il reste fort probablement un chapitre entier, d'ailleurs le plus long du traité (Giusti, 2017). Fibonacci, de son propre aveu un talent précoce, a recueilli dans cet ouvrage une *summa* du savoir arithmétique et algébrique de son temps[2].

Comme il le dit lui-même dans la préface du *Liber Abbaci*, Fibonacci a été initié aux calculs avec les « chiffres indiens » quand il était enfant, auprès de son père, fonctionnaire de douane de la république de Pise dans la ville de Bugia, l'actuelle Béjaïa, en Algérie (Aissani & Valerian, 2003). Dans la même préface, Fibonacci reconnaît aussi sa dette envers l'ensemble de la communauté

1. Il semble bien que l'épithète qui accompagnait le nom « Leonardo » était « Bigollo », comme l'indique le titre de la présente édition.
2. Fibonacci a composé d'autres ouvrages : la *Practica geometrie*, une encyclopédie centrée sur la métrologie géométrique, en partie complémentaire au *Liber Abbaci* (dont il recycle d'ailleurs les paragraphes [14.233-318]) ; le *Liber quadratorum*, un recueil de 24 problèmes d'analyse diophantienne ; le *Flos*, un florilège de problèmes variés.

savante et commerciale du bassin de la Méditerranée (des savants spécifiques seront nommés au cours de l'ouvrage). Son traité est donc polycentrique, le résultat d'assimilation de techniques et thématiques glanées pendant ses voyages et au cours d'une bonne partie de sa vie ; comme nous l'avons vu, il est même fort probable qu'il ait enrichi son traité lors de la deuxième rédaction. Néanmoins, le caractère du *Liber Abbaci* — des centaines de problèmes et d'opérations organisés thématiquement et par technique de résolution dominante, comme nous allons le voir à l'instant — fait qu'il est difficile d'en indiquer les sources. Si certaines relations de filiation sont assurées[3], une comparaison avec, par exemple, la tradition grecque tardo-antique et byzantine des traités d'initiation au « calcul indien » et des « livres de comptes » reste à faire[4].

Le *Liber Abbaci* est en effet tellement riche qu'on risque à tout moment de se perdre dans ses chapitres parfois démesurés. Si les explications de la notation décimale positionnelle[5] (chap. 1) et des opérations de multiplication, addition et soustraction entre nombres entiers (dans cet ordre : chap. 2-4) occupent un nombre raisonnable de pages malgré de foisonnants exemples, le reste prend graduellement de plus en plus de place : division entre nombres entiers, et comme conséquence les fractions (chap. 5) ; multiplication de nombres avec parties fractionnaires (chap. 6) ; addition et soustraction de ce type de nombres, et réduction d'une fraction commune à une somme de fractions unitaires (chap. 7) ; application de la règle de trois dans les transactions commerciales et le change de monnaie (chap. 8), dans la troque de marchandises (chap. 9, règle de trois avec rapports composés), dans la distribution des profits dans les sociétés de commerce (chap. 10), dans les alliages (chap. 11). Le chapitre 12 occupe presque un tiers de l'ouvrage : c'est un recueil de problèmes variés (Fibonacci use l'épithète *erraticus*) et de devinettes, à résoudre principalement avec la méthode de fausse position[6] ; c'est dans ce chapitre qu'on trouve le problème des lapins dont la solution est les « nombres de Fibonacci », ainsi que la première attestation en Occident du Théorème chinois du reste[7]. Même

3. Les citations des *Éléments* d'Euclide sont tirées de la traduction gréco-latine faite en Italie du Sud pendant la deuxième moitié du XIIe siècle (Folkerts, 2004) ; le fait que, dans le chapitre 15, Fibonacci suive de près une traduction latine du traité d'algèbre d'al-Khwārizmī est clair, ainsi que ses emprunts de l'*Algèbre* d'Abū Kāmil (Rashed, 1994).
4. Pour la tradition des « livres de comptes », voir ma mise au point récente (Acerbi, 2019). L'affirmation, souvent répétée, que le *Calcul Indien* du savant byzantin Maxime Planude (mort *ca.* 1305) dépend du *Liber Abbaci* est tout simplement sans fondement.
5. Elle inclut la description de comment représenter les nombres sur les doigts des mains.
6. Sur l'emploi de cette méthode par Fibonacci, voir Hannah (2007).
7. Dans la présente édition : paragraphes (12.996-1000) et (12.1191-1196) ; voir ci-dessous pour ce mode de référence.

caractère de mélange de problèmes variés pour le chapitre 13, où la technique de référence est la double fausse position (appelée *elchataym*). On passe ensuite à l'extraction de racines carrées et cubiques et à une exposition des opérations sur ces radicaux et les binômes irrationnelles (chap. 14), et enfin à un chapitre dominé par une explication de l'algèbre qui suit les lignes du traité d'al-Khwārizmī (chap. 15). Ce résumé ne rend pas justice à la quantité exorbitante de problèmes compilés par Fibonacci, à la maîtrise avec laquelle il traite tous les thèmes, à sa manière très articulée de présenter les sujets et les problèmes, à la valeur du *Liber Abbaci* comme source. De tous les ouvrages de ce type rédigés au Moyen Âge et dans le bassin de la Méditerranée — et il s'agit là d'un petit univers mathématique en partie encore inexploré — le *Liber Abbaci* se place au centre, comme un trou noir au centre d'une galaxie, par la quantité et la qualité du matériel qu'il présente.

La première édition, et jusqu'à présent unique, du *Liber Abbaci* a été proposée en 1857 par le bibliophile et historien des sciences Baldassarre Boncompagni (1857) ; tout en recensant la plupart des manuscrits qui sont même actuellement connus, il en a employé un seul dans son édition, comme c'était la coutume à l'époque[8]. Cette édition, qui ne contient que le texte latin, avait été précédée en 1851 et en 1854 par deux longues études sur la vie et les ouvrages de Fibonacci (Boncompagni, 1851 & 1854). Le *Liber Abbaci* est au cœur de l'attention savante depuis l'édition de Boncompagni, et les études se sont multipliées pendant les derniers décennies. Notamment, ont été publiées une paraphrase complète en allemand (Lüneburg, 1993), avec élucidation des aspects techniques de chaque problème, et une traduction intégrale en anglais (Sigler, 2002). La taille du traité de Fibonacci a fait qu'aucun de ces ouvrages de référence ne contient plus qu'une des trois composantes qui devraient caractériser une édition moderne : le texte original, une traduction, un commentaire détaillé.

Comme nous allons le voir, la présente édition ne fait pas exception. La *première partie* de l'introduction (47 p.) contient une brève discussion des rares données biographiques sur Leonardo Pisano et sur son « vrai » nom (sect. 1), une présentation de la chronologie de ses œuvres (sect. 2-3), un résumé très succinct du contenu du *Liber Abbaci* (sect. 4) ; en tout, 15 pages. Suivent une discussion assez détaillée, rédigée par Paolo d'Alessandro, des éditions précédentes (sect. 5), de la tradition manuscrite du traité (sect. 6-11), et des critères d'édition (sect. 12). Quatre pages de notes au texte du *Liber Abbaci* (sect. 13)

8. Il s'agit d'ailleurs du seul manuscrit complet du *Liber Abbaci*.

sont suivies par les remerciements (sect. 14). La *deuxième partie* de l'introduction (48 p.) contient une brève discussion des rares données biographiques sur Leonardo Pisano et sur son « vrai » nom (sect. 1), une présentation de la chronologie de ses œuvres (sect. 2-3), un résumé très succinct du contenu du *Liber Abbaci* (sect. 4) ; en tout, 15 pages. Suivent une discussion assez détaillée, rédigée par Paolo d'Alessandro, des éditions précédentes (sect. 5), de la tradition manuscrite du traité (sect. 6-11), et des critères d'édition (sect. 12). Quatre pages de notes au texte du *Liber Abbaci* (sect. 13) sont suivies par les remerciements (sect. 14). Dans l'introduction, sont citées presque seulement des études de l'éditeur ou de son entourage académique.

Le lecteur pourrait penser qu'une faute de copier-coller est à l'origine du contenu répétitif du paragraphe précédent. Il n'en est rien : la deuxième partie de l'introduction de notre livre est bel et bien la traduction anglaise de la première partie, qui est écrite en italien. Deux courtes annexes présentent les variations orthographiques et les lacunes et omissions dans les manuscrits ; la première annexe ne bénéficie pas de la traduction, car elle ne contient que des mots latins. La double introduction est suivie par 688 pages de texte latin et par 130 pages de variantes propres à des manuscrits spécifiques. Il n'y a rien d'autre. Aucun index ou glossaire, aucune analyse détaillée du contenu mathématique du traité, aucune liste sommaire ou typologie des problèmes, aucune liste des monnaies ou des unités de mesure, aucune discussion des sources sûres ou probables et de la postérité de l'ouvrage, aucune comparaison avec des traités analogues, que ce soient en latin, en grec, ou en arabe : rien de rien. Le texte latin ne présente même pas l'indication des pages de l'édition de Boncompagni[9].

La belle discussion de la tradition textuelle (qui compte dix-neuf témoins, dont neuf le sont de la plupart du texte et dix des chapitres finaux seulement) met en valeur les aspects suivants. La tradition admet un archétype, c'est-à-dire un manuscrit perdu dont tous ceux qui sont conservés dérivent ; cet exemplaire était fort probablement divisé en trois tomes, qui contenaient respectivement les chapitres 1-11, 12, 13-15 ; la tradition des manuscrits complets se partage en deux familles — dont l'une a comme chef-de-file le manuscrit employé par Boncompagni — plus un manuscrit isolé qui présente une révision systématique du texte. Le seul argument discutable de cette reconstitution de la tradition manuscrite est qu'elle a plusieurs fois recours au (sous-)archétype à variantes, un jeu de prestige linguistique auquel se livrent les éditeurs qui ne veulent pas parler de « contamination » entre les familles ou admettre que

9. La maison d'édition n'a pas davantage doté le livre d'un signet, qui aurait été fort utile.

certains fautes soient polygénétiques ; dans notre cas, on reste convaincu qu'un manuscrit à variantes explique le dernier cas mentionné p. XXXVII et le premier de la p. XLI[10], un peu moins par la liste initiale de la p. XXXVII, par les exemples de la p. XL et par le deuxième cas de la p. XLI. À l'intérieur de chaque chapitre, le texte latin est numéroté par unités algorithmiques (souvent, une seule phrase) ; l'apparat critique est indexé sur ce numéro de « paragraphe » et non pas sur les lignes de la page (qui ne sont donc pas numérotées), les lieux variants étant donnés en séquence à l'intérieur de chaque paragraphe. Ce système, que je trouve fort commode, permet d'alléger l'apparat critique, mais il a le désavantage qu'il faut parfois indiquer des unités critiques plus longues que ce qui est strictement nécessaire.

Cette nouvelle édition du *Liber abbaci* est philologiquement impeccable et sera sans aucun doute l'édition définitive, mais une question s'impose : *cui prodest* ? Car Fibonacci n'est pas Euripide ou Lucrèce, des auteurs classiques dont le texte est lu ou étudié en tant que tel par une foule de savants et de personnes de bonne culture classique. Fibonacci est un auteur totalement opaque, sauf pour les quatre spécialistes qui ont passé leur vie à l'étudier. S'il est vrai qu'une édition critique était nécessaire — mais certainement pas en vue de corriger les quelques fautes ou incertitudes de Boncompagni[11], car cela a bien été fait dans les ouvrages mentionnées ci-dessus —, on ne voit pas comment la présente édition pourrait être utile à son (malgré tout) ample lectorat potentiel : les médiévistes et historiens des sciences qui ne sont pas des spécialistes de Fibonacci, les professeurs de mathématiques de tous niveaux (rappelons-nous que Lüneburg et Sigler étaient des professeurs universitaires de mathématiques), les personnes de bonne culture mathématique avec des curiosités historiques. Tous ces lecteurs potentiels continueront à se servir de la traduction de Sigel, qui a entre autres le bon goût de marquer la page de l'édition de Boncompagni.

De plus, il est désormais de règle, pour les éditions de textes de ce type au moins depuis les travaux exemplaires de Kurt Vogel[12], et plus généralement pour les éditions publiées dans les collections spécialisées majeures (telles le *Corpus des Astronomes Byzantins* et *Mathematica Graeca Antiqua*, mais aussi

10. Ce qui montre que la préface actuelle, dont certaines parties font de toute évidence double emploi, est faite de deux préfaces distinctes, dont la première (1.2-6) à été ajoutée dans la rédaction de 1228.
11. Boncompagni a simplement marqué par un « (*sic*) » les séquences qui demandaient émendation : comme il l'a aussi fait pour des banalités telles que *integrarum*, à corriger de tout évidence en *integrorum* (voir la page 2 de son édition), il est clair que son intention était de procurer une transcription fidèle du manuscrit.
12. Le lecteur pourra consulter Vogel (1954).

Studi e Testi et *Sources and Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences*), de présenter tous les apparats savants qui, nous l'avons vu, manquent entièrement dans la présente édition. Si la tâche est lourde, il aurait suffit que l'éditeur s'arme de modestie et accepte de mettre en chantier un ouvrage collectif, afin d'ajouter un volume (peut-être écrit en anglais) qui aurait pu et dû compléter l'édition du texte. Dans l'attente, ce livre très cher et très élégant, pourra, remis dans son coffret, bien figurer parmi les volumes parfaitement inutiles.

Bibliographie

Acerbi, F. (2019). Byzantine *Rechenbücher* : An Overview with an Edition of *Anonymi* L and J. *Jahrbuch der Österreichischen Byzantinistik* 69 (2019), 1-57.

Aissani, D., & Valerian, D. (2003). Mathématiques, commerce et société à Béjaïa (Bugia) au moment du séjour de Leonardo Fibonacci (XIIe-XIIIe siècle). *Bollettino di Storia delle Scienze Matematiche*, 23, 9-31.

Boncompagni, B. (1851). Della vita e delle opere di Leonardo Pisano matematico del secolo decimoterzo. *Atti dell'Accademia Pontificia dei Nuovi Lincei*, 5-91 et 208-246.

Boncompagni, B. (1854). *Intorno ad alcune opere di Leonardo Pisano matematico del secolo decimoterzo*. Roma.

Boncompagni, B. (1857). *Il Liber Abbaci di Leonardo Pisano*. Roma.

Folkerts, M. (2004). Leonardo Fibonacci's Knowledge of Euclid's *Elements* and of Other Mathematical Texts. *Bollettino di Storia delle Scienze Matematiche*, 24, 93-113.

Giusti, E. (2017). The Twelfth Chapter of Fibonacci's *Liber Abaci* in its 1202 Version. *Bollettino di Storia delle Scienze Matematiche*, 37.

Hannah, J. (2007). False position in Leonardo of Pisa's *Liber Abbaci*. *Historia Mathematica*, 34, 306-332.

Lüneburg, H. (1993). *Leonardi Pisani Liber Abbaci oder Lesevergnügen eines Mathematikers*. 2e éd. Mannheim ; Leipzig ; Wien ; Zürich : Wissenschaftsverlag.

Rashed, R. (1994). Fibonacci et les mathématiques arabes. *Micrologus*, 2, 145-160.

Sigler, L. (2002). *Fibonacci's Liber Abaci*. New York : Springer.

Vogel, K. (1954). *Die Practica des Algorismus Ratisbonensis*. München : Beck.

Revue des Questions Scientifiques, 2021, 192 (1-2) : 199-205

La *fabrique du monde*, de Copernic à Descartes

Jean-Robert Armogathe
Correspondant de l'Institut
armogathe@gmail.com

Mehl (Edouard), *Descartes et la fabrique du monde : le problème cosmologique de Copernic à Descartes*. – Paris : Presses universitaires de France, 2019. – 432 p. – (Épiméthée : essais philosophiques). – 1 vol. broché de 15 × 22 cm. – 35,00 €. – isbn 978-2-13-080065-1.

Notre connaissance de « la pensée scientifique de Descartes », comme on dit, a été profondément renouvelée dans le demi-siècle qui nous sépare de mes premières rencontres, rue Colbert à Paris, avec les vaillants chercheurs du Centre Alexandre-Koyré (Jean Bernhardt, Pierre Costabel, Bernard Rochot, René Taton...). Édouard Mehl a été un des principaux artisans de ce renouvellement, depuis sa thèse pionnière sur *le contexte allemand de l'élaboration de la science cartésienne* — il y a vingt ans déjà ! — (Mehl, 2001) jusqu'au présent volume, en passant par une soixantaine d'articles de grande qualité et la direction de plusieurs ouvrages collectifs majeurs. En ratissant inlassablement les fonds anciens de bibliothèques allemandes, en découvrant et étudiant des ouvrages improbables, inconnus, oubliés, Mehl a renouvelé la géographie du premier dix-septième siècle, en décrivant un paysage complexe, riche et souvent totalement ignoré auparavant. Cette alchimie savante est comme sublimée dans *Descartes et la fabrique du monde*, version remaniée du texte présenté en 2013 pour l'Habilitation à diriger les recherches.

La thèse de l'auteur est que le traitement cartésien du système du monde est tout entier déployé sur l'arrière-plan d'un commentaire de la *Genèse* entrepris, jamais achevé, et aujourd'hui disparu : en 1619, Descartes privilégiait encore

une lecture allégorique du texte sacré (*Cogitationes privatae*, AT X, 218, Carraud-Olivo p. 55). Il se tint plus près du sens littéral dans le *Monde*, où il s'était appliqué « à démêler le chaos » (à Mersenne, 23 décembre 1630), ce qu'on remarque encore dans le passage du *Discours* qui le résume (AT VI, 42-45). Il approfondit son hypothèse, en travaillant sur le premier chapitre de la *Genèse*, allant jusqu'à écrire à Mersenne en 1636 :

> « Je vous dirai que depuis quatre ou cinq jours, en relisant le premier chapitre de la *Genèse*, j'ai trouvé comme par miracle qu'il se pouvait tout expliquer suivant mes imaginations, beaucoup mieux ce me semble qu'en toutes les façons que les interprètes l'expliquent, ce que je n'avais pas ci-devant jamais espéré »[1].

Et, deux ans plus tard, au jésuite Vatier (22 février 1638) :

> « J'ai bien pensé que ce que j'ai dit avoir mis en mon traité de la lumière touchant la création de l'univers serait incroyable ; car il n'y a que dix ans que je n'eusse pas moi-même voulu croire que l'esprit humain eût pu atteindre jusqu'à de telles connaissances, si quelqu'un d'autre l'eût écrit »[2].

Comme le rappelle Mehl, on ne saurait sous-estimer l'arrière-plan biblique de toute la pensée scientifique de l'époque : si l' « affaire Galilée » prit de telles proportions, c'est bien parce que l'enjeu dépassait la simple décision d'une commission de cardinaux. D'autant que les instances scientifiques sur la scène européenne étaient toutes confessionnelles — savants allemands, en majorité luthériens, et savants jésuites catholiques. Le grand commentaire de la *Genèse* du Père Benito Pereira (1535 ?-1610), en quatre volumes in-f°, surplombe la période : il connut plusieurs éditions entre 1589 et 1601, et les différents traités (*disputationes*) dont il a parsemé ses commentaires ont encore été repris et amplifiés en cinq volumes in 4° (1601-1610). Dans sa lecture attentive de ce monstrueux commentaire, Mehl montre comment l'aristotélisme « classique » (« scolastique ») était bien conscient des difficultés à appliquer au *monde* les catégories physiques du Philosophe.

Avec finesse et érudition, l'auteur traite une question qui a beaucoup préoccupé les théologiens médiévaux : Dieu aurait-il pu créer un monde meilleur ? D'une part, on ne peut pas limiter sa puissance, mais d'autre part, comment sa création a-t-elle pu être imparfaite ? Comme souvent, Mehl soulève un

1. Cette lettre, adressée à Boswell (?) en 1646 (?) dans AT, doit probablement être reclassée à Mersenne, 1636 (toutes les références dans Descartes, 2013, p. 646).
2. Voir aussi à Morin, 13 juillet 1638.

problème puis, faute de place, n'en développe pas toute la richesse d'interprétation. Il convient de lire les copieuses notes de bas de page et de poursuivre l'enquête ouverte par l'auteur, qui suscite ainsi souvent la curiosité. Sur ce sujet, par exemple, je suis allé voir Thomas de Strasbourg, mentionné p. 74, n. 3, et j'ai passé une agréable soirée à m'émerveiller de l'ingéniosité déployée par ce théologien augustin († 1357) dans son *Commentaire des sentences* !

L'étendue des vues de Mehl peut l'exposer à quelques (rares) reprises de spécialistes : ainsi convient-il d'être prudent en comparant le *berescit* de Genèse 1, 1 au début du Quatrième Évangile (*In principio*) : l'exégèse actuelle souligne que le Prologue doit être lu avec en arrière-plan non pas le texte massorétique, mais le targum (autrement dit, la paraphrase araméenne) de *Genèse*[3], ce qui réduit la distance entre les deux textes.

À propos de l'Écriture, la réponse de Descartes, dans sa grande lettre à Chanut pour la Reine (6 juin 1647, AT V 54), à l'affirmation de Christine, rapportée par Chanut : « l'homme est la fin de la création » (11 mai 1647, AT X 621) : « il est dit que *omnia propter ipsum* (Deum) *facta sunt* », est une citation recomposée à partir du Prologue de Jean, que la lecture à la fin de chaque messe rendait présent à la mémoire de Descartes : *omnia per ipsum facta sunt* (où *ipsum* est le Verbe) et du texte des *Proverbes* 16, 4 : *universa propter semetipsum operatus est Dominus*. Ce qui permet de rappeler la prudence nécessaire devant des citations souvent faites de mémoire.

Une fois ce monde créé, Mehl va l'explorer dans les cinq chapitres suivants. La « métaphysique du nouveau monde » permet de constater que si l'idée de l'âme et celle de Dieu ont très vite reçu un statut dans la métaphysique de l'École, celle du monde accusa un retard, lié à l'embarras que la physique aristotélicienne causait à la théologie chrétienne. Le terme *cosmologia* apparaît cependant assez tôt : chez Cornelius Agrippa, en latin dès 1531 (*De incertitudine*..., f° LXVIII r°) et en français, dans la traduction de L. Turquet de Mayerne en 1582 (p. 174 : on trouve aussi *cosmologiques* p. 524).

Je suis très admiratif de l'érudition perspicace de l'auteur aussi bien sur les mathématiciens-astronomes du XVIe siècle que sur les exégètes et les commentateurs des *Sentences*. Je regrette seulement, sur ce terrain, que l'insistance sur la création ait fait passer au second plan le cosmos comme création ordonnée par des lois[4] : Elihu, un ami de Job, dit de Dieu : « *nullus ei similis in Legislatoribus* » (Job 36, 22). L'ample commentaire de Job par Balthasar Cordier (*Iob*

3. Les deux principaux Targums ont été traduits par R. Le Deaut (1978).
4. Une seule référence : *Natural Laws and Laws of Nature in Early Modern Europe* (2008).

elucidatus, Anvers, 1646) se déploie tout au long du chapitre 28 pour affirmer le volontarisme d'une sagesse divine qui impose des lois à la nature : il retient un exemple, particulièrement éclairant, pour signifier cette puissance législatrice de Dieu : le contrôle des vents. « *Qui fecit ventis pondus* » : que signifie ce poids des vents ? Dans un développement encyclopédique, l'exégète explique alors qu'il s'agit de la *force* et de la direction des vents. Le sujet, dit-il, est d'importance et n'a rien de futile. Avec le Livre de la *Sagesse* 7, 17, il rappelle que cette connaissance est difficile et élevée : par « une loi certaine » (*certa lege*), la puissance divine impose *pondus* et *mensura* aux éléments les plus rebelles, les plus évasifs à tout ordre et à toute discipline : même le vent, dit Cordier, ne naît pas comme il veut et ne se déplace pas à sa guise : Dieu lui impose un *mandatum*, un commandement. Sa puissance se manifeste bien en permettant à quelque chose d'aussi étranger au poids et à la mesure de ne se mouvoir que « *sub determinato pondere et mensura quam ille statuit* » (p. 518).

Examinant l'articulation entre physique et métaphysique chez Descartes, l'auteur rappelle la primauté des preuves « par les effets », dans le *Discours* comme dans les *Meditationes*. Il montre alors, de manière convaincante a) que Descartes ouvre une *via media* entre Avicenne et Averroés (différente de celle tentée par Thomas d'Aquin) en faisant de l'*idea entis infiniti* un indice irréfutable, en ayant éliminé tous les signes dont le signifié peut n'avoir pas d'autre réalité que celle d'un signe ; et b) que ce déplacement n'est pas d'invention cartésienne : on le trouve dans l'interprétation scotiste des *viae* thomistes, au tournant du XIIIe-XIVe siècles. L'imposition théologique et scripturaire est ici encore première : c'est l'*idea entis infiniti* que l'*ego* atteint comme *inconcussum quid*, qui lui-même, en lui-même : les *invisibilia Dei* sont manifestées dans la *mens humana*[5].

Avec le chapitre III, l'auteur aborde l'herméneutique du *livre de la Nature* : Mersenne disait bien que « le monde est un livre de Dieu dans lequel nous devons lire sans cesse » (préface des *Quaestiones in Genesim*, 1623). Mehl montre de façon convaincante à la fois l'importance des *physiques chrétiennes* et la rupture opérée par Descartes, à la suite des coperniciens stricts (Rheticus, Rothmann, Galilée, Kepler) : « comprendre la création et la *nouitas mundi* suppose qu'on saisisse l'*ens creatum* dans sa contingence radicale et que tout 'quelque chose' apparaisse comme l'antithèse du *nihil* dont la puissance divine le sépare originairement » (p. 168).

5. Une coquille rend inintelligible p. 123 la citation de la *Meditatio IV* : il faut lire *omnibus suis numeris absolutum*.

La réception du cartésianisme aux Pays-Bas, si importante pour le développement même du *système*, fait se heurter les disciples aux théologiens réformés anticoperniciens : Mehl produit ici des textes rares, peu connus et tout à fait essentiels pour comprendre les enjeux de fond de ces querelles.

Le chapitre suivant (IV) est consacré à l'espace : on voit ici comment la théorie cartésienne des comètes (dans *Le Monde* et dans les *Principia* III) est décisive pour le système du monde (son immensité) : aux nombreux textes cités par Mehl, on pourrait joindre la discussion, peu souvent utilisée, des objections de Le Conte en 1646, avec la réponse de Picot : « Si la disposition de tous les tourbillons pouvait être comprise par l'entendement humain, on pourrait prédire les comètes aussi certainement que les éclipses de lune » (AT IV 464).

Les deux chapitres suivants brossent une large fresque historique pour « démêler le chaos », selon la distinction classique (depuis le Lombard) de l'*opus sex dierum* (*seu mundi opificium*) entre *opus creationis* et *opus distinctionis* (le troisième terme étant l'*opus ornatum*). Le « firmament » est ébranlé, et surtout la fable de la naissance des étoiles est revisitée. Les pages de l'auteur à ce sujet sont extrêmement intéressantes (et convaincantes) : la tradition chrétienne avait pris en compte la succession chronologique du premier chapitre de la Genèse : création de la lumière au verset 3 (premier jour), puis des « luminaires » aux versets 14-17 (quatrième jour). D'où le problème de cette lumière primo-engendrée. Le commentaire de Pereira est ici capital : se séparant de Thomas d'Aquin, embarrassé dans les formes substantielles, il rejoint la *mira opinio Basilii* : la lumière (*lumen*, très exactement *luminis splendor*, son pur resplendissement) peut se concevoir sans un sujet matériel, comme l'âme peut se concevoir séparée du corps. Ce qui convient bien à Descartes pour qui le Soleil est constitué par les lois du mouvement[6].

La 3e partie des *Principia*, souvent délaissée par les commentateurs, est ici centrale ; Mehl remarque d'ailleurs que la pensée de Pascal Laf 84 (« Il faut dire gros cela se fait par figure et mouvement… ») correspond bien à la « fable du monde » cartésienne ; or cette « gigantomachie astrale » peut aussi faire l'objet d'une interprétation théologique. Mehl rappelle ici aussi le passage mystérieux des *Essais de Théodicée* : cette fable « digne d'un origéniste » intègre au mythe biblique un élément cartésien : les taches qui ont transformé la Terre de soleil en planète, satellite d'un autre soleil. Ce développement érudit, des pp. 299-304, est exemplaire de la recherche et de la curiosité de l'auteur.

6. On complétera par les actes du colloque *Le Soleil à la Renaissance et à l'âge classique* (2018).

De même la dernière partie (« La fin des temps ») est très neuve et d'une grande richesse documentaire et conceptuelle. On appréciera (pp. 357-358) le replacement du passage du *Discours* (« nous rendre comme maître et possesseurs de la Nature », AT VI 62, 7) dans le contexte de la *Genèse*, en le rapprochant d'un *tanquam dominus et possessor* des *Sentences* de Pierre Lombard (II, 15, 5). Ce texte, directement ou (plutôt) par les innombrables commentaires[7] auxquels il a donné lieu, est séminal pour la pensée occidentale. Une recherche automatisée dans les textes latins (CETEDOC) montre que le mot « *possessor* » (compris dans le syntagme *domini et possessores*, par exemple chez Gerson), est très rare dans l'exégèse de la *Genèse*, où le *dominium* adamique n'est pas une *possessio* (qui est un terme juridique)[8]. Mais je ne suis pas certain qu'Étienne de Courcelles, en traduisant le Discours, ait repéré l'origine du passage et que la traduction *velut* (au lieu du *tanquam* du Lombard) soit significative[9].

La conclusion permet à l'auteur de renouer les fils de son étude, dans une comparaison d'une grande justesse : l'*In genesim* perdu de Descartes serait comme le métier sur lequel métaphysique et physique se croisent comme les fils de chaîne et les fils de trame. Descartes avait devant lui l'œuvre immense de Kepler, dont les *Harmonies*, disait celui-ci, ont été achevées au moment du couronnement de l'Empereur (*eodem et loco et mense*), autrement dit en cette année 1619, si importante pour Descartes (qui selon Baillet aurait assisté au couronnement de Ferdinand, à Francfort, au mois de juillet). Mais si son nouveau monde reste à l'horizon des physiques mosaïques, il a voulu aller plus loin, de l'*idea creationis* à l'*idea creatoris*, dans la radicalité de l'*ego*.

Un Index scripturaire et un Index cartésien font de cette grande étude un merveilleux ouvrage de référence tant par sa richesse documentaire que par l'ampleur d'une problématique qui domine l'histoire de « la fabrique du monde » dans la première moitié du XVIIe siècle.

7. Plus de 1400 commentaires sont répertoriés (la plupart sont restés manuscrits).
8. On le trouve chez Hervé de Bourg-Dieu († 1150), dans son Commentaire de l'Épître aux Hébreux : « *Per sex dies ab illa creatione non requievit, quoniam nihil perfectum vidit, donec homo dominus et possessor omnium creatus fuit* » (PL 181, col. 591).
9. Ajoutons que sur l'épisode fameux de la rencontre des Descartes avec Anna van Schurman, il convient désormais de recourir au texte publié dans un très savant liminaire du *Bulletin cartésien* par Xavier Kieft (2010).

Bibliographie

Descartes, R. (1996). *Œuvres de Descartes* (publiées par C. Adam & P. Tannery ; 11 vol.). Paris : Librairie philosophique J. Vrin.

Descartes, R. (2013). *Œuvres complètes* (sous la direction de J.-M. Beyssade et D. Kambouchner). Vol. 8, 1 : *Correspondance* (éditée et annotée par J.-R. Armogathe). (Tel ; 392). [Paris] : Gallimard.

Kieft, X. (2010). Bulletin cartésien XXXVIII. Liminaire 2 : Note sur le « curieux témoignage » attribué à Anna Maria Van Schurman (AT IV, 700-701). *Archives de philosophie*, 73(1), 153-157.

Mehl, E (2001). *Descartes en Allemagne 1619-1620 : le contexte allemand de l'élaboration de la science cartésienne*. Strasbourg : Presses universitaires de Strasbourg, 2001. (2e édition revue et augmentée : 2019).

Natural Law and Laws of Nature in Early Modern Europe : Jurisprudence, Theology, Moral and Natural Philosophy (edited by L. Daston & M. Stollies). Farnham : Ashgate.

Roudaut, F., & Stoffel, J.-F. (édit.). (2018). Le Soleil à la Renaissance et à l'âge classique : actes, enrichis de contributions supplémentaires, de la journée d'études tenue à l'Université Paul-Valéry - Montpellier 3 (20 novembre 2015). *Revue des questions scientifiques*, 189(4), 367-630.

Targum du Pentateuque. 1 : Genèse (1978) (trad. des deux recensions palestiniennes complètes avec introduction, parallèles, notes et index par R. Le Déaut ; avec la collaboration de J. Robert). (Sources chrétiennes ; 245). Paris : Éditions du Cerf.

Revue des Questions Scientifiques, 2021, 192 (1-2) : 207-212

Analyse critique

La guerre des maths a bien eu lieu

Jean Mawhin
Université catholique de Louvain
jean.mawhin@uclouvain.be

De Bock (Dirk) - Vanpaemel (Geert), *Rods, Sets and Arrows*. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2019. – xxii, 293 p. – 1 vol. relié de 18 × 26 cm. – 105,99 €. – isbn 978-3-030-20598-0.

Il y a un demi-siècle environ, un phénomène rare se produisit en Belgique : les mathématiques firent la une de quotidiens et d'hebdomadaires, avec des titres accrocheurs comme « La guerre des maths aura-t-elle lieu ? », « Sur le front des maths » ou « Des cobayes pour les Papystes ». En cause une réforme de l'enseignement de cette discipline ou, plus précisément (la presse se nourrit mieux de querelles que de pédagogie), la furieuse bataille entre les partisans et les adversaires de l'introduction de la « mathématique moderne » dans l'enseignement primaire et secondaire. Pour la première fois peut-être, la pertinente remarque du mathématicien belge Paul Mansion : « Les mathématiques jouissent d'une brillante impopularité ; c'est la seule science que le journalisme contemporain, omniscient dans tous les autres domaines, ignore complètement » (Mansion, 1905, p. 239) trouvait un contre-exemple. Ironie de l'histoire, le même Paul Mansion avait mis fin, dans la seconde moitié du XIXe siècle, à une autre guerre — aujourd'hui oubliée — des mathématiques en Belgique. Elle avait opposé les « infinicoles » ou « l'école moderne », partisans de l'introduction des infiniment petits dans l'enseignement de la géométrie élémentaire, aux « infinifuges », qui continuaient à lui préférer la méthode d'exhaustion des anciens géomètres grecs (Mawhin & Bair, 2019). Mansion

renvoya les adversaires dos à dos en préconisant avec succès l'emploi de la méthode des limites.

L'ouvrage *Rods, Sets and Arrows*, de Dirk De Bock et Geert Vanpaemel, deux historiens réputés des mathématiques à la Katholieke Universiteit Leuven, a pour sous-titre et pour objet l'ascension et le déclin des mathématiques modernes en Belgique. Son titre principal, qui se traduit par *Réglettes, ensembles et flèches*, ne prend son sens que pour ceux qui connaissent au moins une partie de l'histoire. L'ouvrage retrace en fait, d'une manière détaillée, rigoureuse et bien documentée (la seule bibliographie occupe quarante pages), l'histoire de l'enseignement des mathématiques en Belgique, aux niveaux élémentaires et secondaires, depuis l'immédiate après-guerre jusqu'à la fin du siècle passé.

Dès que la Deuxième Guerre mondiale se termine, un groupe d'intellectuels inspirés par les idées pédagogiques d'Ovide Decroly et associés à l'Université libre de Bruxelles (ULB) crée un *Comité d'initiative pour la rénovation de l'enseignement en Belgique (CIREB)*. Paul Libois, professeur de géométrie à l'ULB et communiste militant, et Adolphe Festraets, professeur de mathématiques et de physique à l'Athénée royal d'Ixelles, proposent d'enseigner l'arithmétique d'une manière moins « mécanique » et de développer la géométrie, comme partie de la physique, d'une manière plus « intuitive ». Libois souhaite aussi que « les mathématiques cessent d'apparaître comme une science morte, mais comme le résultat du vieil effort séculaire de l'humanité, comme une science qui n'a jamais cessé de vivre, et qui est encore aujourd'hui en plein développement » (Libois, 1960, p. 6). Ces idées ont finalement peu de retentissement et, pour certaines d'entre elles, on peut le regretter.

À partir de 1950, le mathématicien et psychologue italien Caleb Gattegno organise une série de conférences internationales sur des thèmes d'éducation mathématique, et crée en 1952, avec le psychologue suisse Jean Piaget et le mathématicien français Gustave Choquet, la *Commission internationale pour l'étude et l'amélioration de l'enseignement des mathématiques* (CIEAEM). Plus de vingt conférences du CIEAEM voient le jour en Europe entre 1950 et 1968, avec une attention spéciale sur l'emploi de modèles concrets, comme les célèbres réglettes de Georges Cuisenaire pour l'apprentissage du calcul. Aux antipodes, le rôle des structures en mathématiques est souligné par le mathématicien et philosophe suisse Fernand Gonseth et des représentants du groupe Bourbaki, en particulier Jean Dieudonné.

La CIEAEM est à l'origine de la création en 1953, par les enseignants de mathématiques Willy Servais, Louis Jéronnez, Lucien Delmotte et Frédérique

Lenger, de la *Société belge des professeurs de mathématiques*, que Servais préside jusqu'en 1969. La Société organise une série de conférences annuelles et commence en 1953 la publication de la revue *Mathematica & Paedagogica.* Grâce à l'influence, à l'ouverture d'esprit et aux relations internationales de Servais, cette revue joue un rôle important dans la diffusion des idées nouvelles sur l'axiomatique et les structures mathématiques, en publiant régulièrement, sous la plume de mathématiciens français et belges, des articles sur ce sujet.

À la fin des années 1950, l'*Organisation pour la coopération économique européenne* (OCEE) organise à Royaumont un Séminaire sur l'enseignement des mathématiques, pour « promouvoir l'action internationale en vue d'augmenter la quantité et d'améliorer la qualité des scientifiques et des ingénieurs dans les pays de l'OCEE » (*New thinking*, 1961, p. 4). La Belgique est représentée par Robert Ballieu, professeur à l'Université catholique de Louvain (UCL), Jean J. Van Hercke, du ministère de l'Instruction publique (l'éducation est encore l'affaire des parents) et Servais, secrétaire du CIEAEM. Dieudonné préside la première session sur l'évolution des mathématiques et son influence sur le curriculum des écoles secondaires, et prononce à cette occasion les fameux anathèmes « À bas Euclide ! » et « Mort au triangle ! » diversement appréciés. Pascal aurait sûrement noté que Dieudonné, en parlant de géométrie, manquait peut-être d'esprit de finesse. La deuxième session, portant sur les méthodes d'enseignement des mathématiques et les aptitudes des élèves, et la troisième, consacrée à la formation des maîtres et à la rédaction des manuels, ont moins de retentissement. Servais présente une synthèse largement appréciée des avantages du nouveau curriculum. D'autres conférences sont organisées à Aarhus, où Dieudonné s'oppose au Hollandais Hans Freudenthal, à Zagreb-Dubrovnik, où Libois présente ses vues sans beaucoup de succès, et à Athènes, où Georges Papy fait une entrée remarquée sur la scène internationale.

À l'ULB, Georges Papy avait fait des recherches sur certains aspects de l'algèbre et de l'analyse extérieures sous la direction de Théophile Lepage, sans atteindre toutefois la notoriété internationale de son promoteur. Ses contributions mathématiques, une trentaine d'articles parus principalement dans des revues belges s'achèvent en 1956, année de sa nomination à la chaire d'algèbre de l'ULB. À la fin des années 1950, Servais et Lenger font appel à son assistance technique dans leur projet d'introduire les « mathématiques modernes » dans l'enseignement primaire et secondaire. Pris au jeu, Papy se concentre très vite sur ces activités, et expérimente les méthodes de Servais et Lenger auprès de futures enseignantes du jardin d'enfants, avant de s'intéresser directement aux élèves du secondaire. Frédérique Lenger, que Papy épouse en 1960, intro-

duit les méthodes nouvelles à l'école primaire et collabore avec son époux à la publication de la célèbre série d'ouvrages *Mathématique moderne* entre 1963 et 1967. Auparavant, Papy avait fondé en 1961 et présidait le *Centre belge de pédagogie mathématique* (CBPM) qui, sous ce titre général, regroupait uniquement ses partisans, et publiait le journal *Nico*, un clin d'œil affirmé au prénom attribué à Bourbaki. Chaque année, le CBPM organise les *Journées d'Arlon* de recyclage des enseignants, qui connaissent un grand succès, malgré ou peut-être à cause de l'aspect polémique, radical et provocant du discours de Papy (un futur sénateur !), qui partitionne bientôt l'ensemble des enseignants de mathématiques en « papystes » et « anti-papystes », indépendamment de leurs convictions religieuses ou philosophiques. En Flandre, l'opposition se cristallise principalement autour de l'Université de Gand et, en Wallonie, autour de la Faculté polytechnique de Mons (sous l'impulsion de Léon Derwidué), des Facultés des sciences et sciences appliquées de l'Université de Liège, et de l'enseignement technique de la province éponyme. Jeune assistant à l'époque à l'Université de Liège, j'ai assisté à plusieurs réunions organisées par des partisans ou par des opposants à la réforme. Les discours comblaient beaucoup plus les amateurs de slogans et de mauvaise foi que les amoureux de la logique et des débats constructifs. Plusieurs organisations éphémères voient le jour pour tenter, sans succès, d'organiser la résistance à Papy. Lui-même finit par se brouiller avec ses propres troupes et fonde en 1970, avec son dernier carré, un *Groupe international de recherche en pédagogie des mathématiques* (GIRP), qui sombre dans l'oubli dans les années 1980.

Le monumental ouvrage *Mathématique moderne* de Papy est sans aucun doute un document marquant de la réforme de la « mathématique moderne » et sa renommée est considérable, tant en Belgique qu'à l'étranger. Sa structure révolutionne celle des manuels de l'époque. Outre le recours constant au langage des ensembles et des relations, on n'y trouve plus la traditionnelle division en disciplines mathématiques distinctes (arithmétique, algèbre, géométrie, trigonométrie, ...). Le style est strictement logico-déductif et procède du général au particulier. L'imagination de l'élève est assez peu mise à l'épreuve, la plupart des exercices consistant en vérifications. En particulier, la géométrie est quasiment réduite à l'étude des structures algébriques sous-jacentes. Cela n'empêche pas l'ouvrage d'être traduit en de nombreuses langues étrangères et d'être considéré par beaucoup comme la Bible de la mathématique moderne, puisque le singulier doit désormais s'employer pour souligner une indiscutable unité des mathématiques. Mais la Bible n'est pas le catéchisme et, lorsque la mathématique moderne fait son entrée officielle dans les programmes, on préfère aux volumes de Papy des avatars moins ambitieux (et moins lourds), moins

rigoureux aussi malheureusement. Cela provoque la fureur du Père créateur, qui affirme haut et fort dans la presse que « le vaisseau de la réforme s'est embourbé » (Debefve, 1972).

Les années 1960 sont en Belgique, indépendamment de la réforme de l'enseignement des mathématiques, des années d'instabilité politique, et plusieurs ministres de l'Éducation nationale, d'obédiences différentes, se succèdent rapidement. Cela retarde, sans l'empêcher, l'adoption des mathématiques selon Papy dans les programmes de l'enseignement secondaire d'abord, du primaire ensuite, dans un climat d'improvisation et de manque de préparation. Les recyclages du corps enseignant ne sont pas toujours à la hauteur des espérances, ni leurs compétences à la hauteur de leur enthousiasme. Ainsi ma fille ainée, alors en première primaire, revint un jour de l'école en annonçant fièrement avoir appris la théorie des ensembles. Elle l'expliqua à ses parents (tous deux professeurs de mathématiques) en dessinant l'ensemble des enfants, puis l'ensemble des chiens, et présenta fièrement leur intersection comme l'ensemble des enfants ayant un chien. Elle reproduisait scrupuleusement les feuilles distribuées par l'institutrice. Mon épouse proposa aussitôt au directeur un recyclage bénévole des enseignants de l'école.

Les effets de la réforme commencent à être évalués dans les années 1980 et la critique reprend, tant au nord qu'au sud d'une Belgique désormais fédérale. Elle vient à la fois des utilisateurs des mathématiques, en particulier des ingénieurs, et des pédagogues de la discipline. Elle conduit à un abandon progressif des « réglettes, ensembles et flèches » dans l'enseignement néerlandophone, qui s'inspire du modèle hollandais, plus réaliste. Dans la Communauté française de Belgique, Nicolas Rouche, professeur à la Faculté des sciences appliquées, ingénieur de formation et jusque-là leader d'un groupe de recherche en mécanique et équations différentielles, avait fondé, en 1978 à l'UCL, le *Groupe d'enseignement mathématique* (GEM). Réunissant enseignants de terrain et chercheurs en didactique mathématique, le GEM, toujours actif aujourd'hui, prône un enseignement par les problèmes et une réflexion épistémologique sur son contenu. En 1989, le ministre de l'Éducation de la Communauté française de Belgique crée une commission destinée à mettre en place une « réforme de la réforme ». Curieusement présidée par Paul Danblon, un talentueux touche-à-tout plus connu en télévision et à l'opéra que dans les cercles mathématiques, cette commission préconise entre autres choses un retour de la géométrie dans les programmes, et la création d'un *Centre de recherches sur l'enseignement des mathématiques* (CREM), qui se fixe à Nivelles sous la direction de Rouche. Ses

idées influencent encore, à tous les niveaux, l'enseignement des mathématiques en Communauté française de Belgique.

Dans l'évolution historique que nous venons d'esquisser à grands traits, chaque paragraphe correspond essentiellement à un chapitre du substantiel l'ouvrage de De Bock et Vanpaemel et n'en fournit bien entendu qu'une image partielle et superficielle. Car *Rods, Sets and Arrows* est un véritable livre d'histoire des mathématiques, fruit d'un soigneux travail de plusieurs années et reposant sur une documentation abondante. Le livre complète et amplifie d'ailleurs plusieurs articles de ses auteurs publiés dans des revues spécialisées nationales et internationales. Si sa lecture demande une attention soutenue, elle est récompensée par une vision complète et équilibrée de l'histoire critique d'une période sur laquelle on a maintenant suffisamment de recul pour permettre une vue objective. Un index des noms cités et un index des termes permettent la consultation thématique d'un ouvrage dont la présentation matérielle est excellente (un signe intégrale évident n'a pas survécu au traitement de texte à la page 152). Le volume est agréablement illustré de nombreuses photographies, pour la plupart inédites.

Ce livre deviendra, à notre avis, un ouvrage de référence incontournable sur l'histoire de la réforme de l'enseignement des mathématiques en Belgique dans la deuxième moitié du XXe siècle.

Bibliographie

Debefve, S. (1972). Le vaisseau de la réforme de la mathématique s'est embourbé. *Le Soir*, 9 mai 1972.

Libois, P. (1960). *Programme moderne d'enseignement des mathématiques dans les écoles secondaires des pays membres de l'O.E.C.E.* Archives personnelles de Willy Servais, Morlanwez.

Mansion, P. (1905). À quoi servent les mathématiques. *Mathesis*, 25(3e série, 5), 239-241.

Mawhin, J., & Bair, J., (2019). Le mathématicien Jean-Nicolas Noël (1783-1867) : un didacticien infinicole du XIXe siècle. *Revue des Questions Scientifiques*, 190(1-2), 27-60.

New thinking in school mathematics (1961). Paris : O.E.E.C.

Comptes rendus

Histoire des sciences

Mathematikos : vies et découvertes des mathématiques en Grèce et à Rome / précédé d'un entretien avec Olivier Peyon ; textes réunis et présentés par Antoine Houlou-Garcia. – Paris : Les belles lettres, 2019. – 274 p. – (Signets belles lettres, 32). – 1 vol. broché de 11 × 18 cm. – 15,00 €. – isbn 978-2-251-44932-6.

Le projet de ce petit livre qui se tient bien en mains, et procure d'avance du plaisir, est de faire vivre en plus d'une centaine de très courts extraits, rarement plus de deux pages, les personnages de l'Antiquité gréco-romaine ayant illustré le monde mathématique. C'est plus qu'une série d'abrégés à la façon des *Vies, doctrines et sentences des philosophes illustres* de Diogène Laërce ou même des *Vies parallèles* de Plutarque, mais portant sur une culture bien particulière. Des thèmes mathématiques eux-mêmes entrent en lice, comme la quadrature du cercle, celle d'un segment de parabole, ou l'infinité des nombres premiers. La variété des auteurs et des styles rompt l'ennui de ce genre qui peut vite tourner à l'hagiographie. Je ne crois pas qu'il y ait, en français ou en d'autres langues, de réalisation analogue, donc encore bravo.

Mais pourquoi avoir décidé de ne mettre que très peu de notes ? Sans même faire saisir les choix de traduction ou celui des mathématiques en jeu. L'auteur dit avoir beaucoup repris, et forcément il a modifié par rapport à des traductions classiques, mais il ne veut pas nous en faire part. Dont acte ! Mais c'est, en un sens, mépriser la longue tradition philologique. C'est d'autant plus dommage que certains textes sont illisibles. À titre d'exemple, je prends un des plus connus d'Aristote dans les *Seconds analytiques*, livre I, xxviii. Je me contente de retranscrire : « Par "adjonction", je veux dire que l'unité est une essence qui n'a pas de position tandis que le point est une essence qui a une position ; cette

Licence : CC BY-NC-ND 2.0 BE

position est une adjonction ». Les traductions classiques parlent au moins d'addition ! Si le but de cet ouvrage est de donner envie de lire à des apprentis mathématiciens, l'effet sera d'estimer inutile de lire des embrouillaminis, sinon des inepties. Ne serait-il pas tout simplement utile de donner une note sur « le sable répandu sur son abaque » dans l'extrait de Martianus Capella ou sur « les ornements du Cyllénien » (p. 27) ?

L'organisation de ce recueil est astucieuse : une indication sommaire de datation, une introduction assez générale, une courte référence finale, et quelquefois quelques notes pour certains textes. Avec l'intervention personnelle du metteur en scène qui aime, c'est son droit, les textes farfelus sur la mystique des nombres. Mais justement le diable se niche dans ce qui en soi serait très valable. À titre d'exemple, intervient à propos d'un texte de Porphyre de Tyr (p. 111) une note à propos de l'utilisation, dans la traduction, du mot « raison » pour une progression arithmétique, expliquant l'original grec « logos ». Parfait, quoiqu'aucune allusion ne soit faite à ce logos et à « l'analogie », et la note conclut : c'est ce qu'on « appelle aujourd'hui la raison d'une suite ». N'importe quel élève de lycée vous dira qu'il est ridicule de demander la raison d'une suite, quand celle-ci n'est pas qualifiée. S'il est sous-entendu suite arithmétique, pourquoi faire une note ! La note suivante pourrait corriger le tir à propos de « raison », puisqu'elle porte sur la moyenne arithmétique de deux longueurs b et a, avec $b>a$, dite selon $c-b = a-c$, alors qu'il faudrait évidemment b-c = c-a, à moins qu'on veuille que les Grecs aiment les nombres négatifs. Intervient l'intervalle, qui est justement dit devoir être entendu au sens musical, « c'est-à-dire mathématiquement comme une division ». L'occasion de dire b/a comme raison ! Non, c'est « division » qui est choisi. Quelques lignes plus loin, le texte parle de moyenne géométrique, donc de a/b = b/c, mais cette fois c'est le mot « rapport » qui est choisi. Une note 1, page 109, prétend donner son sens au verbe « mesurer » en exprimant qu'il s'agit de « commensurabilité » ! On peut certes estimer que l'erreur provienne de l'omission dans cette anthologie d'extraits du livre V des *Éléments* d'Euclide, un livre jugé sans doute trop difficile alors même que la théorie des proportions qu'il recèle servit jusqu'à Galilée. L'estimation d'un niveau du lectorat est chose souvent subjective, et donc on peut admettre les choix particuliers de cette anthologie. Mais quand même peut-on apprécier que le si beau résultat d'Archimède sur la quadrature de la parabole soit représenté sans la généralité d'un segment quelconque !

Même sous le joug des restrictions, dont il est oublié d'au moins les annoncer, les insuffisances de langage sont nombreuses, comme « quantités homogènes » (p. 25) où il faudrait « grandeurs homogènes », ou l'explication de

l'utilisation égyptienne des fractions en *1/n* par la nécessité de « diviser un même terrain en plusieurs parts ». Visiblement 3/5 et 2/5 ne conviennent pas ! Autre exemple surprenant à propos de la comparaison du volume de la sphère et du cylindre dans lequel elle est inscrite, avec l'intervention de 3/2 qui fit reconnaître par Cicéron l'emplacement de la tombe d'Archimède : il est dit que théoriquement (?) un élève de collège a le moyen de le trouver rapidement. Donc faire mieux qu'Archimède (dont la lourdeur de la preuve est ici soulignée), tout en ignorant le calcul intégral. Chiche d'organiser un concours national à ce sujet en classe de quatrième !

Il est surtout irritant que de telles maladresses n'aient pas pu être corrigées, en donnant justement à lire le texte à un élève de collège : il suffirait de noter ses réactions d'incompréhension, et justement y répondre par quelques notes. Serait-ce alors trop demander que de souhaiter une révision d'un tel « signet » Belles Lettres ?

Jean Dhombres
Centre national de la recherche scientifique & École des hautes études en sciences sociales

Weill-Parot (Nicolas), *Le vol dans les airs au Moyen Âge : essai historique sur une utopie scientifique*. – Paris : Les belles lettres, 2020. – 240 p. – 1 vol. broché de 15 × 21,50 cm. – 24,50 €. – isbn 978-2-251-45103-9.

Si le Moyen Âge latin n'est pas réputé pour sa contribution technique à la science aéronautique, l'énigme du vol n'en a pas moins obligé ses meilleurs esprits à renouveler leur compréhension de l'ordre naturel. Comment la pensée médiévale, plus scientifiquement riche qu'on ne l'imagine parfois, a-t-elle compris la physique du vol ? C'est la question que traite Nicolas Weill-Parot dans son dernier ouvrage, *Le vol dans les airs au Moyen Âge* : *essai historique sur une utopie scientifique*.

Complétant les précédentes synthèses de Jules Duhem et Clive Hart à l'aide de travaux plus récents, l'auteur a néanmoins des ambitions plus modestes que le titre ne pourrait le laisser croire. Délaissant à peu près la question technique elle-même et les éventuels artefacts, Weill-Parot se concentre sur l'aptitude de la science scolastique des XIIIe et XIVe siècles, marquée par l'aristotélisme latin, à expliquer l'élévation paradoxale de « corps lourds » pourtant naturellement enclins à s'écraser au sol. Si le texte, il est vrai, n'est pas exempt de quelques approximations sur le plan physique — parler systématiquement de « corps lourd », au lieu de « plus lourd que l'air », peut ainsi dérouter le lecteur —, l'expertise de l'auteur touchant la magie médiévale et autres « points aveugles » de la nature le disposait à étudier un phénomène naturel qui défie la rationalité scientifique scolastique.

Un fil rouge parcourt tout l'essai : si le vol artificiel n'est pas encore, à la fin du Moyen âge, un authentique projet technique, il devient néanmoins une « utopie scientifique » dont la machine volante de Roger Bacon est le plus illustre exemple. Par là, l'auteur essaye de définir une attitude scientifiquement ambivalente où l'objet spéculatif est compris à la

fois comme naturellement possible, mais techniquement irréalisable dans l'immédiat. Ce faisant, l'auteur fait du travail sur l'imaginaire, distinct de la simple rêverie, un moment clef de ce « dynamisme interne » (p. 25) par lequel la science se dépasserait elle-même. Le choix méthodologique revendiqué par l'auteur d'occulter le contexte de ces spéculations met en évidence, d'un côté, toute la créativité conceptuelle si caractéristique de la science médiévale, mais de l'autre limite les conclusions de l'essai en négligeant les facteurs extérieurs à l'université médiévale.

La science scolastique pense le vol de trois manières : le vol naturel de l'oiseau, celui spirituel des anges et des démons, et celui produit par le savoir-faire humain. La zoologie médiévale (chap. 1) explique péniblement le vol de l'oiseau : les observations que livre Frédéric II dans son important traité de fauconnerie, insistant sur la puissance des muscles pectoraux et suggérant une analogie entre les pennes et le levier, vont résolument dans un sens mécanique. Au contraire, les études d'Albert le Grand ou de Pierre d'Espagne se penchent plutôt sur la nature du corps même de l'oiseau, cherchant confusément dans une hypothétique « essence légère » la racine du vol. Insistant sur la singularité du corps de l'oiseau, ces explications devaient décourager une stratégie de l'ornithoptère simple à ailes battues.

En revanche, elles ont nourri l'idée d'utiliser la puissance animale pour le transport aérien : ainsi du vol fictif d'Alexandre le Grand, dont la nacelle est élevée par des griffons, qui relève cependant plus du fantasme irréalisable que du projet technique. Au contraire, si l'on met de côté la tentative infructueuse d'Eilmer de Malmesbury encore aux prises, selon Weill-Parot, avec un imaginaire légendaire, la machine volante qu'imagine Roger Bacon est une véritable projection technique qui serait accessible au savoir si l'université chrétienne voulait bien réformer sa tendance spéculative et comprendre la supériorité de l'art sur la nature (chap. 2). Néanmoins, la pensée du moine franciscain, si singulière, n'exprime pas l'esprit général de la scolastique avec laquelle elle est déjà en rupture.

En effet, pour Weill-Parot, la scolastique est en réalité bien plus dominée par l'idée du vol surnaturel, celui où une entité spirituelle, un ange ou un démon, transporte dans les airs une nature terrestre (chap. 3). L'imaginaire médiéval fourmille d'exemples de tels transports : lévitation miraculeuse de Saint Thomas, transport aérien de Sainte Marguerite, plus tard vol des sorcières pour le sabbat. Si ces textes étonnent, c'est sans doute l'un des grands mérites de l'auteur de ne pas les négliger, et de faire comprendre leur importance pour une pensée scientifique du vol.

Les trois derniers chapitres examinent plus théoriquement comment l'énigme du vol pousse dans ses retranchements la science scolastique dominée par la théorie aristotélicienne des lieux naturels et de l'action par contact. Ainsi, les scolastiques n'ignoraient pas que l'air chaud est plus léger que le froid (chap. 4). En ont-ils tiré des conséquences pour le vol ? On a souvent vu dans les expériences de pensée proposées par Albert de Saxe et Nicole Oresme des préfigurations de l'aérostat. À la lettre, elles suggèrent plutôt qu'un vaisseau allégé par le feu — la chaleur ? — pourrait flotter et naviguer à la surface de la sphère de l'air. Il s'agirait moins d'appliquer à l'air la poussée d'Archimède que d'aménager la logique aristotélicienne des lieux naturels, preuve qu'un tel vol, bien qu'irréalisable en pratique, n'était pas incompatible avec les principes de l'aristotélisme scolastique.

Très intelligemment, Weill-Parot inclut dans son étude des mouvements contre nature apparemment loin du vol : le fer soulevé par un aimant, ou l'eau retenue dans la chantepleure. Ainsi étudie-t-il les mouvements, magnétiques ou balistiques, qui s'opposent à la gravitation (chap. 5), et ceux qui engagent une compréhension du vide (chap. 6). Les pages touchant la balistique sont particulièrement intéressantes : en attribuant à l'air environnant le projectile un rôle moteur, l'explication aristotélicienne rapproche la balistique du vol. Au contraire, la théorie buridanienne de l'*impetus*, réduisant l'air à sa résistance mécanique au profit d'une force motrice interne au mobile, ne nous éloigne-t-elle donc pas d'une compréhension du vol et de la portance ?

Les choix méthodologiques initiaux limitent à mon sens la portée des conclusions. Comme l'auteur le rappelle lui-même, l'université médiévale a une perspective spéculative et non pratique : on ne s'attendait donc pas, à vrai dire, à y trouver une « pensée scientifique du vol artificiel » autre qu'imaginaire. Il faudrait prendre plus au sérieux les savoirs en marge de l'université. Par exemple, pourquoi réduire la tentative d'Eilmer de Malmesbury à un simple « bricolage sans réelle élaboration scientifique » (p. 146), alors que nous ignorons tout des réflexions qui l'animèrent ? Le vol artificiel apparaîtrait peut-être moins « utopique » si l'historien étendait sa réflexion aux champs non universitaires, là où l'on essaye vraiment de faire voler des jouets d'enfant ou des appareillages militaires. Pourquoi nier ainsi que le cerf-volant décrit par Keyser dans le *Bellifortis* « s'ancre dans la science » (p. 115) ? Le témoignage de Marco Polo, qui raconte avoir vu des marins chinois suspendus dans les airs au moyen de ces cerfs-volants, mériterait certainement un commentaire (voir le *Dévisement du Monde*, § 159).

Quoi qu'il en soit, Nicolas Weill-Parot réussit pleinement à nous convaincre de l'intérêt du Moyen Âge pour une histoire de l'aéronautique. Le défaut expérimental de la science scolastique ne doit pas rendre l'historien aveugle sur sa grande richesse théorique, si difficile qu'il soit parfois d'en sentir toute l'intelligence. Il n'y a pas de doute que les textes réunis par l'auteur et la perspicacité de ses analyses seront une base incontournable aux approfondissements à venir qu'appelle cet essai audacieux.

PHILIPPE DEBROISE
Université de Paris – Laboratoire SPHERE

NICOLLE (Jean-Marie), *Le laboratoire mathématique de Nicolas de Cues*. – Paris : Éditions Beauchesne, 2020. – 226 p. – (Le grenier à sel). – 1 vol. broché de 13,5 × 21,5 cm. – 19,00 €. – isbn 978-2-7010-2274-1.

J'aime les lieux communs. Les sentiers battus, mais aussi bien les salles des pas perdus. Certes, il faut faire la part des choses et peut-être ne convient-il pas de composer un « Dictionnaire des idées reçues » à l'instar de Flaubert, mais plutôt de songer à un « Manuel du bon usage des fables convenues ». Et, le cas échéant, d'y apporter des nuances. Et, surtout, ne pas les ignorer, car elles peuvent revenir, sur la pointe des pieds, et prendre place au cœur même de la réflexion.

En 1880, Richard Falckenberg écrivait à propos de Nicolas de Cues : « Nicolas veut être un philosophe du Moyen Âge, bien qu'avec plus de liberté ; il est, sans le vouloir, un

philosophe moderne, mais plus réservé »[1]. Depuis lors[2], Nicolas de Cues (1401-1464) — homme d'Église, philosophe, théologien, mathématicien, juriste et prédicateur — traverse l'histoire de la philosophie affublé d'un titre tenace : « auteur majeur qui a assuré le passage du Moyen Âge à la modernité ». Jean-Marie Nicolle, en tout état de cause, s'inscrit dans cette tradition :

> « Nicolas de Cues nous apparaît aujourd'hui comme un grand penseur original, peut-être le seul philosophe de son siècle [...] mais, finalement, coiffé de son chapeau rouge, le cardinal fait rendre au Moyen Âge son dernier flamboyant soupir » (p. 213).

Il importe, sans doute, de revenir « sur cette fameuse transition entre Moyen Âge et époque moderne, qui n'est pas liée à un nom mais qui, survenant de manière imperceptible, divise les noms en noms d'avant et noms d'après »[3]. Mais, peut-être, dans la foulée de Raymond Klibansky, le temps est-il venu d'étudier le Cusain « *nei termi che gli sono propri* »[4]. Cela dit, la traversée commence :

> « [...] en mer, revenant de Grèce — je le crois par un "don d'en haut du Père des Lumières", d'où provient tout don excellent (Jc 1,17) — j'ai été conduit à embrasser incompréhensiblement des choses incompréhensibles, dans la docte ignorance, par un dépassement des vérités incorruptibles humainement connaissables [...]. Dans ces abîmes, tout l'effort de notre esprit humain doit consister à s'élever à cette Simplicité où coïncident les contradictoires »[5].

Dans son ouvrage *De la perfection mathématique* (1458), le Cardinal écrit : « Mon but est d'arriver à la perfection mathématique par la coïncidence des opposés [...]. Cette perfection consiste pour tout dans l'adéquation de la droite et de la courbe [...] »[6]. Et, partant, « la quasi-totalité de l'œuvre mathématique de Nicolas de Cues est centrée sur un unique problème : la quadrature du cercle », puisque « la quadrature du cercle équivaut à l'expression géométrique du principe de non-contradiction »[7]. Ici une précision est de mise : l'esprit est, à la fois, raison et intelligence. Parmi les limites de la raison, « il en est une, essentielle, qui tient à son principe de fonctionnement : c'est le principe de non-contra-

1. Duhem, P. (1909/1984). *Études sur Léonard de Vinci : ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu (seconde série)*. Paris : Éditions des Archives Contemporaines. Ici, p. 99.
2. Il va sans dire que je choisis cette date — 1880 — de façon tout à fait arbitraire.
3. Nicolas de Cues (trad. 2011). *Les Conjectures* (texte traduit avec introduction et notes par J.-M. Counet). Paris : Les Belles Lettres. Ici, p. LVII.
4. Klibansky, R. (1959/1965). Nicholas of Cues. Dans Nicolò Cusano. *Scritti filosofici* (a cura di G. Santinello) (vol. 1). Bologna : Zanichelli editore. Ici, p. 6.
5. Nicolas de Cues (trad. 2012). *Anthologie* (due à K. Reinhardt et H. Schwaetzer ; édit. française par A.-M. Vannier). Paris : Les Éditions du Cerf. Ici, postface de la *Docte Ignorance* : « Lettre de l'auteur au seigneur Jullien, cardinal, datée à Cues, le 12 février 1440 », pp. 71-72.
6. Nicolas de Cues (trad. 2007). *Les écrits mathématiques* (présentation, traduction et notes par J.-M. Nicolle). Paris : Honoré Champion. Ici, p. 433.
7. Vengeon, F. (2011). *Nicolas de Cues : le monde humain. Métaphysique de l'infini et anthropologie*. J. Million. Ici, p. 185.

diction. L'intelligence qui admet la compatibilité des contraires grâce à la coïncidence des opposés va nous permettre d'approcher Dieu » (Nicolas de Cues, 2007, pp. 7-8). Joseph Ehrenfried Hofmann, qui a étudié avec une remarquable minutie les écrits mathématiques du Cardinal, dit que le Cusain s'engage de plein cœur dans les problèmes et les démonstrations géométriques, mais il n'en demeure pas moins que ces études « restent à l'ombre de sa philosophie »[1]. N'oublions pas cette remarque. En 2007, Jean-Marie Nicolle écrit :

> « Finalement en dépit des apparences et des conclusions triomphantes toutes les recherches mathématiques [de N. de Cues] aboutissent à un échec. Malgré l'ingéniosité dont il fait preuve, il ne parvient pas à la quadrature du cercle [...]. L'essentiel ne consiste pas à savoir pourquoi il ne pouvait pas résoudre le problème, mais à savoir pourquoi il n'a pas vu qu'il ne pouvait pas le résoudre. [...] il faut comprendre son erreur à partir de ses propres connaissances, "de l'intérieur", et étudier ses concepts métaphysiques comme autant d'obstacles épistémologiques » (Nicolas de Cues, 2007, pp. 46-47).

En 2020, les mêmes mots, ou presque, reviennent sous sa plume : « Nous avons montré qu'il fallait comprendre son erreur "de l'intérieur" [...], et considérer ses concepts comme autant d'obstacles épistémologiques internes » (pp. 201-202). La variation d'un fragment de phrase ramasse, pour ainsi dire, le résultat de ce travail : « Il faut comprendre » est devenu « Nous avons montré qu'il fallait comprendre ». Pour y parvenir, Nicolle a pourchassé, sinon dévoilé, les « obstacles épistémologiques internes ». Il constate que

> « la théologie n'aide aucunement les mathématiques à s'émanciper ; elle les enferme et les contraint ; pour des raisons symboliques, Nicolas de Cues privilégie la droite sur la courbe, ce qui l'empêche d'envisager une solution asymptotique de la quadrature du cercle. Il croit qu'un point recherché existe toujours, posé au bon endroit par Dieu [...] » (p. 202).

L'élément principal du projet de Nicolle tient dans « l'hypothèse selon laquelle les mathématiques sont un laboratoire pour le Cusain [...]. Nous prenons bien sûr cette expression comme une métaphore pour décrire une démarche de recherche [...]. Dans un laboratoire de mathématiques, on expose ses idées à des nombres et à des figures. La pensée se confronte à la rigueur des objets mathématiques » (p. 17). L'ouvrage se présente comme une étude chronologique de l'œuvre du Cardinal. Voici le titre de ses chapitres : 1. « Les premières œuvres » (1432-1441) ; 2. « L'approfondissement de la Docte Ignorance (1442-1449) » ; 3. « L'épistémologie du *De Mente* (1450-1452) » ; 4. « La découverte d'Archimède (1453-1454) » ; 5. « La recherche de la vision intellectuelle (1455-1459) » ; 6. « Les dernières œuvres ». La conclusion envisage les rapports du Cusain et la pensée moderne (p. 9). Il est hors de question de mener à bien, au sein de ce compte rendu, une analyse poussée de chacune de ces étapes. Qu'il me soit permis de formuler quelques considérations générales.

1. Nikolaus von Cues (1952). *Die mathematischen Schriften* (übersetzt von J. Hofmann mit einer Einführung und Anmerkungen versehen von J. E. Hofmann, F. Meiner). Hamburg. Ici, « seine mathematischen Traktate behandeln wirklich mathematische Gegenstände, obwohl sie im Schatten seiner Philosophie stehen », p. IX.

1°) Un des traits caractéristiques de la notion « d'obstacle épistémologique » est ainsi énoncé par Bachelard : « on connaît contre une connaissance antérieure » (p. 18). Je crois que Nicolas de Cues invente, c'est-à-dire que souvent, comme un artiste, il emploie des éléments qui se trouvent déjà là et avec eux il compose une nouvelle disposition des pièces sur l'échiquier infini de la pensée. La préposition « contre » n'a point de place parmi les mots dont le sens et la portée orientent sa philosophie.

2°) Écoutons Nicolle :

> « [...] Nicolas de Cues donne deux visages aux mathématiques : d'un côté, elles sont un outil bien utile pour le calcul ; de l'autre, elles sont un trésor de symboles qui permet de penser l'infinité divine [...]. À partir de 1460 il ne parle plus de la quadrature du cercle. Il ferme son laboratoire, au sens où il n'a plus besoin de tester ses hypothèses géométriques par le raisonnement et le tracé de figures. La vision intellectuelle suffit » (p. 49, p. 180 et p. 184).

Pourtant, « le cardinal a toujours considéré les mathématiques comme une propédeutique à la théologie » (p. 119). Ainsi les notions conçues par le Cusain ont une double nature mathématico-théologique. Par conséquent, il est loisible d'imaginer un « laboratoire mathématique » où l'on découvre le côté théologique des mathématiques et, aussi bien, un « laboratoire théologique » où l'on découvre le côté mathématique de la théologie. Sans doute je risque — ici — une lecture à rebours, voire à contresens de l'hypothèse centrale de Nicolle. Mais je ne puis l'éluder.

3°) En l'occurrence, « y a-t-il une place pour une véritable recherche mathématique ? » (p. 49). L'on sait que « *Tutti gli scritti matematici gravitano intorno alla "vexata quaestio" della quadratura del cerchio* »[1]. Les *Transmutations géométriques* sont l'écrit le plus ancien qui nous soit parvenu (1445). La « Première prémisse » de ce traité est : « Le demi-diamètre du cercle iso périmétrique du triangle inscrit se rapporte à la ligne menée du centre du cercle, auquel le triangle est inscrit, au quart de son côté, en proportion des cinq quarts » (Nicolas de Cues, 2007, p. 81). Nicolle indique que cette proposition va constituer l'objet principal de toutes les discussions ultérieures. F. Vengeon dit que « nulle part Nicolas de Cues ne démontre la nécessité de couper le triangle au quart de son côté. Peurbach lui demandera de préciser sa démonstration » (Vengeon, 2011, pp. 186-187). Le point situé « au quart de son côté » est le produit d'une intuition. Au demeurant, Hofmann a montré que de cette « *visio* » résulte un quotient de la circonférence et du diamètre égal à 3,1423 qui est à l'intérieur de l'encadrement d'Archimède (3 10/71 et 3 1/7) (Nikolaus von Cues, trad. 1952, p. 191). À mon avis, cet exemple est significatif : Cues y emploie les moyens de son bord et, tout de suite, surgit la critique « technique » des mathématiciens. Cet état des choses ne va guère changer par après. Toscanelli, Peurbach, Regiomontanus, tour à tour, vont dévoiler les lacunes géométriques et logiques qui émaillent les textes mathématiques de Nicolas. Dans *De la quadrature du cercle d'après Nicolas le Cusain*, Regiomontanus « ne

1. Niccolò Cusano (trad. 2017). *Opere filosofiche, teologiche e matematiche* (a cura di E. Peroli, testo latino a fronte). Bompiani. Ici, « Scritti matematici » (traduzione e note di F. De Felice), p. 2989.

se moque pas ouvertement du Cusain [...] mais on sent poindre son ironie à propos de son "art" nouveau » (p. 199). Dans une lettre à Christian Roder de Erfurt, Regiomontanus n'hésite pas à dénoncer le cardinal comme « *geometra ridiculus* »[1]. Trêve de courtoisie, donc.

Dans *D'une mesure du droit et du courbe*, Nicolas soutient que si l'on conserve « la surface d'une figure quelconque, sa nature propre et invariable, tu parviendras par cet art à beaucoup d'autres cachées qu'on ne peut toutes énumérer ; tu y parviendras aussi par des intersections et des courbes déformées uniformément » (Nicolas de Cues, 2007, p. 385). Avec acuité, Nicolle commente ce passage : « Là est justement le préjugé erroné de Nicolas de Cues : il pense que grâce aux rapports proportionnels, on peut établir des variations uniformes, et par là, que les variations peuvent toujours se représenter par des droites » (Nicolas de Cues, 2007, p. 385). Ce « préjugé erroné » correspond-il à un « obstacle épistémologique » ? Ne s'agit-il pas, plutôt, d'une limite du mathématicien ? Les conjectures du cardinal ne s'avèrent-elles pas insuffisantes ? Au cœur même de sa géométrie, on retrouve la richesse de la pensée du théologien-mathématicien. Tout chemin de traverse s'ouvre comme un estuaire sur la beauté sans limites de son œuvre philosophique.

Godofredo Iommi Amunátegui
Pontificia universidad católica de Valparaíso

Gaukroger (Stephen), *Civilization and the Culture of Science : Science and the Shaping of Modernity : 1795-1935*. – Oxford : Oxford University Press, 2020. – xii, 519 p. – 1 vol. relié de 16 × 24 cm. – £40.00. – isbn 978-0-19-884907-0.

Stephen Gaukroger a récemment achevé le quatrième et dernier volume de la série *Science and the Shaping of Modernity : Civilization and the Culture of Science* (SSM IV), dont le caractère est nettement plus philosophique que les précédents. Alors que les trois premiers constituaient les prémisses de l'argument principal de l'histoire, le quatrième en tire les conclusions en examinant l'époque du plein essor de la culture scientifique. Le point de départ est 1795, l'année de publication de l'*Esquisse* de Condorcet, qui affirme pour la première fois l'unité entre le progrès de la civilisation occidentale et le progrès au sens scientifique. En revanche, le point d'arrivée se situe à la moitié des années 1930, au sein des plus vastes débats philosophiques et culturels visant à restituer aux sciences un rôle cosmopolite et universel après la Première Guerre mondiale.

Le premier fil conducteur de l'ouvrage concerne le rôle acquis par la connaissance historique dans le cadre du processus de consolidation de la culture scientifique (IV, p. v). La première partie du présent volume retrace les chemins culturels par lesquels les concepts de science et de civilisation commencèrent à être systématiquement associés l'un avec l'autre comme des termes substantiellement interdéfinissables. À partir de la découverte de l'existence d'une science chinoise à la fin du XVIIe siècle, de nombreux auteurs ayant un penchant historique commencèrent à forger des oppositions conceptuelles (science occidentale / science orientale ; science moderne / science médiévale ; civilité / barbarie ;

1. Rose, P. L. (1975). *The Italian Renaissance of Mathematics*. Genève : Librairie Droz. Ici, p. 60.

culture / civilisation) qui dotèrent la science moderne d'une profondeur temporelle et d'une dimension historique nouvelle par rapport à celles qui l'avaient précédée, et notamment la science chrétienne. L'historicisation accomplissait donc une double fonction. D'une part, elle se tournait vers le passé à travers la construction d'une origine temporelle de la science moderne, de nouvelles formes de périodisation historique, d'un canon d'auteurs, et la compilation des découvertes fondamentales accomplies par ces derniers. De l'autre, elle regardait vers le futur, à travers la diffusion de nouvelles idéologies et d'espoirs de développement indéfinis. Comme Gaukroger le souligne justement dans les dernières parties de l'œuvre (IV-V), les espoirs étaient aussi encouragés par les formes inédites de collaboration et, par moments, d'opposition entre la science « pure » et les plus récentes innovations technologiques à l'origine de la discipline qui pendant le siècle suivant serait définie comme « technoscience ».

La partie centrale de ce volume est dédiée au sujet de l'unité de la science. On y retrouve les débats autour de l'unification de la physique, de la chimie et des sciences de la vie par les scientifiques (partie II) et des principaux courants philosophiques, du néo-kantisme au positivisme logique (partie III). L'exposé de Gaukroger présente une forte dimension normative : l'idée philosophique qui guide la lecture de cette phase historique est que l'image de la science établie au cours du XIXe siècle et dominante jusqu'au début du siècle suivant était bâtie sur une fondation faible, qui n'avait que peu, voire rien, à voir avec la véritable pratique scientifique. Celle-ci se fondait « sur l'idée qu'il fallait une description scientifique unifiée du monde et que le type de connaissance que cette description représentait devait être de nature éminemment théorique (et non pas "pratique" ou "instrumentale") » (IV, p. 432). Questionner une telle idée a été « l'une des tâches principales et des *leitmotivs* » de SSM (IV, p. 432).

L'aboutissement de ces recherches extrêmement détaillées au sujet des projets d'unification scientifiques du XIXe siècle représente pour Gaukroger une problématique décisive, qui le pousse à adopter une conception épistémologique pluraliste. L'un des principes constituant la base du projet entier était de distinguer l'émergence des programmes de recherche scientifique de la consolidation d'une culture scientifique et, tant qu'on restait au niveau de la science antérieure au XIXe siècle, la séparation des deux contextes était apparue comme « relativement linéaire » (IV, p. 433). Pourtant, il devient toujours plus difficile de soutenir une image unitaire de la « science pure » avec l'émergence de nouvelles orientations technologiques et avec le rôle toujours plus décisif de la « science populaire » au XIXe siècle (partie IV). Gaukroger souligne alors qu'indépendamment de ce que peuvent croire (à un niveau métadiscursif) les scientifiques ou les philosophes à l'égard de la science, l'étude de son développement historique montre qu'elle se donne toujours comme « un mélange de théories, expérimentations et inventions conduites en dehors des théories, articulées à travers un vaste nombre de voies (ci-incluse la science populaire) », qui ont comme effet le développement de « produits discursifs (théories scientifiques) » et de « produits non-discursifs (machines et systèmes complexes) » (IV, p. 433).

En ce sens, Gaukroger définit la science moderne dans sa totalité comme « un mélange instable à caractère modulaire » (IV, p. 433). Les développements au cours des XIXe et XXe siècles n'auraient donc pas créé une nouvelle idée de la science, mais ils auraient

plutôt rendu manifestes des caractéristiques qui avaient toujours été latentes dans la pratique scientifique. Il n'est dès lors pas possible de saisir le développement de la science sans abandonner l'idée qu'elle représente une entité unitaire et séparée de ses implications technologiques, sociales et culturelles. À partir de la fin du XIXe siècle, cette image a progressivement perdu en crédibilité, et il en a été de même pour le statut culturel hégémonique de la science, qui justement avait réussi, au cours de ce siècle, à s'imposer comme la source primaire de légitimation de toutes les valeurs.

En conclusion, l'œuvre de Gaukroger est de très haut niveau, malgré les risques qui sont propres à un projet d'une telle portée. Il s'agit d'une synthèse importante pour l'histoire des sciences, non pas parce qu'elle fournit des interprétations révolutionnaires des événements dont elle traite, mais parce qu'elle se charge de l'effort titanesque de photographier l'état de l'art de la discipline et d'indiquer de nouveaux chemins à parcourir pour l'améliorer. Nous nous trouvons donc face à un point de référence indispensable pour ceux qui s'intéresseraient au problème de la synthèse dans l'histoire des sciences, puisqu'il condense, dans une narration unique, le développement historique, sans pour autant en restituer une image monolithique, en prenant toujours soin d'en montrer le caractère de « variable historique ».

Giorgio Matteoli
Università degli studi di Torino

Haroche (Serge), *La Lumière révélée : de la lunette de Galilée à l'étrangeté quantique*. – Paris : Éditions Odile Jacob, 2020. – 507 p. – 1 vol. broché de 15,50 × 24,00 cm. – 23,90 €. – isbn 978-2-7381-5171-1.

Selon l'auteur, le but de cet ouvrage est double. D'une part, il s'agit d'évoquer l'évolution de nos connaissances sur la lumière depuis l'Antiquité jusqu'aujourd'hui, alors qu'elles ont connu une véritable explosion au cours des dernières années. D'autre part, faire comprendre à un public non spécialisé, à travers son expérience personnelle, « les motivations d'un chercheur, les ressorts de sa curiosité et le rôle de la chance dans une démarche dont les surprises ne sont jamais absentes » (p. 16). En conséquence, le livre comporte deux parties. La première se compose de trois chapitres, le premier et les deux derniers (VI et VII). La deuxième partie, chapitres II à V, forme une toile de fond décrivant la science de la lumière du XVIIe au XXe siècle.

Le chapitre I est une autobiographie, de l'enfance au prix Nobel. D'abord passionné d'astronomie et pourvu d'une insatiable curiosité, Serge Haroche se convertit à la physique, après avoir découvert, dès son arrivée à l'École normale (ENS), à la fois la relativité et la mécanique quantique, toutes deux enseignées par Claude Cohen-Tannoudji. Enthousiasmé, il entame ensuite une thèse de doctorat sous la direction de ce dernier et intègre le laboratoire d'Alfred Kastler et Jean Brossel, professeurs aussi à l'ENS et inventeurs du pompage optique (prix Nobel de Kastler en 1966). Il ne quittera plus ce laboratoire, où il apprend la nécessaire interaction entre théorie et expérience. Le tout mènera à un prix Nobel pour Haroche en 2012. Tout au long de ce chapitre, l'auteur décrit, avec force détails, les phénomènes étudiés, ce qui fait que le lecteur lambda devra souvent s'accrocher !

Changement de décor au chapitre II qui nous renvoie au XVIIe siècle, avec Galilée et Huygens. Deux problématiques majeures sont abordées pour la première fois : la vitesse de la lumière et la mesure du temps. Le pendule d'Huygens et la lunette astronomique de Galilée sont les seuls outils disponibles à cette époque, mais les progrès sont rapides. Römer et Cassini obtiennent des valeurs remarquables dès la fin du siècle et il faudra attendre longtemps pour améliorer leurs résultats. Nouveau rebondissement en 1637 : Descartes publie sa *Dioptrique*, qui est la première théorie mathématique de la lumière. Bien que se basant sur des hypothèses douteuses (vitesse finie, rôle de l'éther), il arrive par calcul à retrouver les lois de l'optique géométrique. Ceci ouvre la porte à un débat qui ne sera résolu qu'au XXe siècle avec la mécanique quantique : la lumière est-elle constituée de particules (Newton) ou est-elle une onde (Huygens, Young, Fresnel) ? Autre innovation prometteuse, le principe de Fermat (vers 1650) annonce les approches variationnelles en mécanique.

Le chapitre III nous amène au siècle des Lumières qui verra le triomphe des ondes lumineuses avec Fizeau et une nouvelle formulation mathématique impliquant les notions de fréquence (donc de couleur), d'interférence et de polarisation. Apparaissent aussi le concept de champ et le développement de l'électromagnétisme, résultant de la fusion entre électricité (Faraday) et magnétisme (Œrsted, Ampère), le tout couronné par les équations de Maxwell (1865). Restait à expliquer le rôle et même l'existence de l'éther…

Le chapitre IV voit l'entrée en scène d'Einstein que notre auteur place en position centrale. D'une part, il réintroduit la théorie corpusculaire de la lumière en expliquant, en 1905, l'effet photoélectrique comme la collision entre un photon et un atome (ce qui lui valut le prix Nobel en 1921). Les photons ou grains de lumière avaient été introduits par Planck en 1900 comme un artifice mathématique permettant d'expliquer le spectre du rayonnement d'un corps noir, mais Einstein en fait une réalité physique, une véritable particule. Dans le même article, il évacue définitivement la notion d'éther, déjà mise à mal par le résultat négatif de l'expérience de Michelson-Morley. En fait, il redéfinit les lois de la mécanique et les rend compatibles avec celles de l'électromagnétisme (Maxwell). Pour ce faire, il redéfinit la notion de simultanéité de deux évènements et remplace l'espace galiléen et le temps absolu de Newton par l'espace-temps à quatre dimensions. Bref, il introduit la relativité restreinte, à grand renfort d'expériences de pensée. Il l'approfondira ensuite en incluant la gravitation. En partant de l'équivalence entre masse gravitationnelle et masse inertielle, il réalise qu'un champ de gravitation n'est que l'expression physique d'une courbure de l'espace-temps : c'est le grand retour de la géométrie non-euclidienne ! Ainsi s'élabore, en 1915, la relativité générale qui sera validée expérimentalement en 1919 (Eddington). Des preuves expérimentales sont maintenant innombrables, en commençant par notre GPS ou les ondes gravitationnelles.

Le chapitre V, intitulé « La lumière dévoile le monde étrange des quanta », nous explique comment la lumière, à la fois onde et particules, mène directement à la mécanique quantique. Après les premiers rudiments par Bohr, cette dernière s'impose à partir de 1927 après les travaux d'Heisenberg, Schrödinger et Dirac. On y trouve encore Einstein (dont S. Haroche est manifestement un grand admirateur…), avec l'explication des chaleurs spécifiques et la condensation de Bose-Einstein, mais sa contribution centrale s'arrêtera là, car il n'a jamais accepté le côté purement probabiliste et l'incompatibilité classique-quantique. Il ne suivra donc pas les développements spectaculaires qui se poursuivent encore

aujourd'hui, théorie des champs, modèle standard des interactions, gravitation quantique, etc. Ainsi se termine ce vaste panorama de la physique, dont la lumière est l'épine dorsale. L'ensemble est original et très pédagogique, parcouru avec enthousiasme par notre auteur.

Ceci nous ramène à la première partie de l'ouvrage, chapitres VI et VII. Ceux-ci décrivent les recherches menées par l'auteur et ses contemporains au cours des 60 dernières années. Le fil conducteur est l'apparition, puis le perfectionnement constant du laser. Ici, le style change, car la description devient beaucoup plus technique. On arrive ainsi aux fondements de la mécanique quantique et à ses applications, bien illustrés par le titre du chapitre VII : « Apprivoiser le chat de Schrödinger ».

En conclusion, nous avons ici un ouvrage remarquable, passionnant, très agréable à lire, même si très souvent le lecteur devra faire un effort. Deux petits bémols toutefois. Tout d'abord, une source de confusion apparaît au chapitre I, car la typographie utilisée conduit à confondre la fréquence ν et vitesse v (p. 35, 48, 207). L'autre est amusante : l'index confond le physicien irlandais John Bell et les Bell Labs, USA (p. 389) !

Ceci dit, on ne peut que recommander chaudement l'ouvrage de Serge Haroche qui tranche vraiment sur la littérature, tant spécialisée que de vulgarisation.

Jean-Pierre Antoine
Université catholique de Louvain

Courant (Elsa), *Poésie et cosmologie dans la seconde moitié du XIXe siècle : nouvelle mythologie de la nuit à l'ère du positivisme*. – Genève : Librairie Droz, 2020. – 808 p. – 1 vol. broché de 15 × 22 cm. – 46,45 €. – isbn 978-2-600-06026-4.

Nous craignons, malheureusement, que les historiens de la pensée astronomique et/ou cosmologique fassent l'impasse sur cette monographie et que ceux de la pensée religieuse ne songent tout simplement pas à la lire. En dépit de l'imposante érudition de l'auteure, qui conduit à une somme de plus de 700 pages que certains hésiteront sans doute à affronter ; de l'excellence, d'un point de vue littéraire, de ses analyses des textes cités et de leurs références intertextuelles ; de la qualité remarquable de son style, dont l'élévation et la technicité risquent toutefois de réduire le nombre de lecteurs potentiels ; et enfin de son aptitude à reconstituer la complexité et la diversité des postures en présence grâce à un corpus imposant de 251 auteurs dont nombre d'entre eux semblent avoir dû attendre cette monographie pour être mis au jour, nous ne saurions blâmer ni les uns ni les autres, du moins dans un premier temps ! Les premiers — ceux-là mêmes qui, ayant lu naguère *La poésie du ciel*[1] d'Isabelle Pantin, auraient pu être tentés d'en faire autant aujourd'hui — auront raison de signaler une divergence importante. Comme l'indique la binarité présente dans le titre, il s'agit ici d'une approche qui, aussi intéressante soit-elle pour l'histoire littéraire, les concerne beaucoup moins : à savoir, les rapports entre poésie *et* cosmologie et non pas la poésie *de la* cosmologie. Ils seront d'ailleurs confortés dans ce sentiment en constatant que le terme « cosmologie » est pris comme synonyme de « conception du monde » — de

1. Pantin, I. (1995), *La poésie du ciel en France dans la seconde moitié du seizième siècle*. Genève : Librairie Droz.

« *Weltanschauung* » aurait écrit Koyré — au lieu de seulement désigner cette « science de l'univers » qui retient tout leur intérêt. Quant aux seconds, à savoir les historiens de la pensée religieuse ou, mieux encore, du sentiment religieux, ils feront remarquer, avec tout autant de justesse, que ni le titre ni le sous-titre ne semblent les concerner. Ils ne peuvent en effet deviner qu'un des thèmes récurrents de ce livre devrait, lui, les intéresser, en l'occurrence le *sentiment* de désenchantement du monde ressenti à cette époque ainsi que certaines tentatives menées pour le réenchanter. Si les spécialistes des interactions littéraires entre poésie et cosmologie au XIXe siècle ne manqueront certainement pas de se réjouir de cette nouvelle publication qui devrait prendre date dans l'historiographie de leur thématique, il nous importe de contrer la double crainte que nous venons d'exprimer. Aussi, sans tenter une quelconque récapitulation des principales thèses de cette monographie, nous nous proposons de pointer, assez librement, ce qui, dans ce livre, est de nature à intéresser ces deux publics. Nous le ferons à partir du point de vue bien particulier qui est le nôtre et qui se situe assurément à la marge de celui de l'auteure.

D'un point de vue strictement scientifique, deux principales nouveautés, selon l'auteure, caractérisent l'époque concernée : la découverte, en 1846, de la planète Neptune dont l'existence et la position ont été prédites par les seules forces des mathématiques ainsi que le développement de la spectroscopie stellaire. Nous en ajouterons deux autres dont l'importance sur la « conception du monde » sera incontestablement déterminante : la révolution darwinienne et la formulation du second principe de la thermodynamique. Bien qu'il en soit question par-ci par-là, on s'étonne de constater le peu d'importance qui, dans le corpus retenu, semble leur être accordée, ce qui, pour la première d'entre elles, est d'autant plus étrange que s'établit, à cette époque, une analogie entre l'« erreur géocentrique » (Copernic) et l'« erreur anthropocentrique » (Darwin) qui fera florès. En revanche, bien que l'auteure n'en dise mot[1], les principales questions débattues, elles, ne bénéficient guère d'une telle nouveauté : ni la prise de conscience de l'uniformité de la matière au sein du cosmos, ni celle de la mort inévitable des étoiles, et de notre Soleil en particulier, ni même celle de l'insignifiance de l'homme à l'échelle de l'univers[2] ne constituent une « crainte nouvelle » (p. 248) qui serait spécifique au second XIXe siècle. Ce qui complique la situation, et c'est une réalité sur laquelle l'auteure attire cette fois justement notre attention (par ex., p. 222, n. 65, p. 333 ou p. 343), ces prises de conscience (qui nous paraissent donc davantage renouvelées que retardées) peuvent donner lieu à des interprétations radicalement opposées : si l'identité matérielle des mondes terrestre et céleste, manifestée par le relevé des composés chimiques présents dans les étoiles, peut être interprétée comme une indigence de l'Être suprême contraint d'utiliser toujours et partout les mêmes

1. Sauf à reconnaître, avec raison, l'existence générale d'« effets de retard » (p. 20) dont la potentielle importance chronologique n'est toutefois pas précisée.
2. Contentons-nous de ce seul exemple. Quant Flammarion, avec pédagogie, ramène les distances cosmiques à la durée d'un voyage en train pour les rendre plus accessibles à l'imagination humaine (p. 224 et p. 227), le XVIIe siècle usait déjà d'un procédé similaire en donnant le temps que mettrait une enclume pour rejoindre la Terre depuis ces lointaines planètes ou un boulet de canon tiré depuis leur surface, à moins qu'il ne préfère évoquer la durée que mettrait un cheval pour parcourir les distances évoquées (D. Špelda, *Les soleils et leurs observateurs au XVIIe siècle*, in *Revue des questions scientifiques*, vol. 189, 2018, n°4, p. 547).

matériaux (p. 204), cette même identité peut tout aussi bien être perçue comme une preuve de l'unité d'un cosmos dû à un Grand architecte (p. 333). Se pose dès lors, à notre avis, la question fondamentale de savoir pourquoi le *choix* a été majoritairement fait de privilégier l'interprétation d'un désenchantement du monde et d'en faire le « *prétexte* » — car c'est bien de cela dont il s'agit — d'une « destruction critique de la foi » (p. 220). Sur ce point, cette monographie, grâce à la documentation qu'elle fournit et à la minutieuse reconstitution de l'esprit du temps qu'elle nous offre, est susceptible de fournir de précieux éléments de réponse. Outre ceux relevés par l'auteure, nous voudrions signaler l'extrême naïveté, qui éclate presque à chaque page, des connaissances théologiques de ceux auxquels la parole est donnée, et donc Camille Flammarion, évidemment omniprésent, incarne un exemple émouvant. Donnons un seul Exemple que l'auteure est amenée à rapporter de manière répétitive (par ex., p. 247, 252, 256, 259, 272, 344...) : tirer de la nature éphémère des corps célestes le caractère illusoire de cet attribut de Dieu qu'est l'éternité, c'est non seulement manifester une incompréhension radicale de ce que la théologie entend par ce terme et, corrélativement, par celui de transcendance, mais c'est également oublier que la Genèse et l'Apocalypse elles-mêmes donnaient déjà à concevoir la non-permanence du monde naturel. *Nihil novi sub sole* donc ! À nouveau, cette monographie est éclairante, sans en tirer cette conclusion, sur le choix qui fut fait par la majorité de ceux qu'elle évoque : se défaire de Dieu plutôt que renoncer à la conception naïve qu'ils s'étaient faite de Lui.

Consacrée à une époque traversée par une profonde crise spirituelle qui engendre aussi bien une nostalgie de l'antique cosmos qu'une recherche, tous azimuts, d'alternatives aux religions dogmatiques — alternatives destinées, conformément à l'esprit du temps, à rassurer davantage que ces dernières en substituant une pseudo certitude scientifique à la croyance —, il serait dommage que plusieurs chapitres de cette monographie particulièrement érudite ne soient lus que par les seuls historiens de la littérature.

Jean-François Stoffel
Haute école Louvain-en-Hainaut

Peebles (Philip James Edwin), *Cosmology's Century : an Inside History of Our Modern Understanding of the Universe*. – Princeton ; Woodstock : Princeton University Press, 2019. – xi + 406 p. – 1 vol. électronique. – $ 23,00. – isbn 978-0-691-20166-5.

James Peebles, né en 1935, a obtenu le prix Nobel de physique en 2019. D'après la déclaration de l'Académie royale des sciences de Suède, il a été récompensé pour des « découvertes théoriques [ayant] contribué à notre compréhension de l'évolution de l'univers après le big bang ». En particulier, ses travaux ont aidé à révéler « un univers dont on ne connaît que cinq pour cent du contenu, la matière qui constitue les étoiles, les planètes, les arbres — et nous. Le reste, soit quatre-vingt-quinze pour cent, est de la matière noire et de l'énergie noire inconnues. C'est un mystère et un défi pour la physique moderne »[1]. Dès 1964, Peebles a en effet prédit certaines des propriétés du rayonnement cosmologique, dont la découverte en 1965 joua un rôle important dans l'acceptation du modèle du big bang par la communauté scientifique. Parmi une multitude d'autres travaux, il a

1. https://www.nobelprize.org/uploads/2019/10/press-physics2019.pdf

également contribué à expliquer la structure et l'évolution des galaxies, puis a été l'un des premiers promoteurs dans les années 1990 de la version désormais standard du modèle du big bang, à savoir la version ΛCDM (pour « Lambda-Cold Dark Matter »). James Peebles n'est donc pas l'homme d'une découverte, mais un des acteurs clefs du développement de la cosmologie moderne et, en tant que tel, un chercheur éminemment respecté.

Dans ce livre qui s'adresse à des lecteurs avertis, Peebles retrace l'évolution de la cosmologie, du premier modèle d'univers d'Albert Einstein jusqu'aux travaux les plus contemporains. Comme le sous-titre du livre l'indique, c'est le regard d'un observateur impliqué dans son objet d'étude qui nous offre, de l'intérieur, ses réflexions sur les multiples travaux ayant participé au développement de cette discipline. Dans un récit qui fourmille donc d'analyses autant d'observations que de travaux théoriques, son objectif principal est de montrer que différents axes de recherche indépendants au cours du XXe siècle ont convergé entre les années 1998 et 2003 pour assoir le modèle ΛCDM sur de solides bases. Pour caractériser cette convergence, Peebles parle à plusieurs reprises de « révolution ». Le mot peut surprendre puisque, avec la consolidation de ce modèle, il n'est pas question d'un renversement de perspective dans la vision du cosmos. Par ajouts successifs d'ingrédients ou d'hypothèses (processus inflationnaire, matière noire et énergie noire représentée par la constante cosmologique Λ), le modèle ΛCDM s'est construit en effet petit à petit à partir des années 1970 pour expliquer un nombre croissant d'observations et supprimer des anomalies. En outre, le concept de convergence traduit l'idée de résultats qui tendent à s'unir, à s'harmoniser ou à s'accorder. Mais, pour Peebles, la « réduction de la confusion [dans la cosmologie] au cours des années 1998-2003 fut suffisamment importante pour qu'elle puisse être appelée une révolution » (p. 11). Peebles appelle donc « révolution » la stabilisation d'un programme de recherche autour d'un modèle précis. Il se montre d'ailleurs très confiant à propos de la validité de ce modèle. Évoquant la possibilité que de nouvelles observations obligent les cosmologistes à opérer des changements théoriques, il écrit ainsi que la nouvelle « théorie prédira un univers très similaire au modèle ΛCDM, parce que ce qui est observé semble tellement correspondre au modèle ΛCDM » (p. 340). Puis, quelques lignes plus loin, il ajoute : « je ne m'attends pas à ce que le modèle ΛCDM soit supplanté, en dehors de quelques modestes ajustements » (p. 340).

Il est délicat de contredire un chercheur ayant le niveau d'expertise de Peebles. Pourtant, on ne peut qu'être frappé par la confiance que ce chercheur peut avoir dans la validité du modèle ΛCDM au regard de l'actuelle situation de la cosmologie où, comme cela fut rappelé lors de l'attribution de son prix Nobel, les cosmologistes ne connaissent que cinq pour cent du contenu énergétique de l'univers observable ; le reste étant de nature inconnue. Peebles reconnait lui-même que la détection d'une matière non baryonique, depuis des décennies que l'on cherche en vain à l'observer, relève d'un « rêve [...] insatisfait » (p. 299). Mais cela ne lui semble pas suffisant « pour argumenter contre le postulat » (p. 299) de son existence. À ce stade de la recherche, il est impossible de dire si la confiance de Peebles est fondée ou non. Seul l'avenir pourra le dire. En tout cas, comme ce livre en témoigne, force est de reconnaître que Peebles ne manque pas d'arguments pour justifier sa position, même si la conception de l'univers à laquelle il adhère reste « un mystère et un défi pour la physique moderne ».

THOMAS LEPELTIER

Philosophie des sciences

MITCHELL (Sam), *Fault-tracing Against Quine-Duhem : A Defense of the Objectivity of Scientific Justification*. – Berlin : De Gruyter, 2020. – 224 p. – (Epistemic Studies). – 1 vol. relié de 23 × 15,50 cm. – 84,95 €. – isbn 978-3-11-068499-5.

Comme son titre l'indique, ce livre est conçu comme une réponse critique à la fameuse *thèse de Duhem-Quine*. Dès son introduction, l'auteur précise que, sous cette appellation, il désigne plus précisément une thèse qu'il situe dans la seconde partie des *Deux Dogmes* de Quine, et selon laquelle aucun ensemble de données empiriques ne suffit jamais à décider en faveur du rejet ou de l'adoption d'une hypothèse considérée isolément. Autrement dit, selon cette thèse, il serait *toujours* possible de trouver *plusieurs* interprétations théoriques pour un ensemble de données empiriques contrevenant à une hypothèse, et ainsi de protéger n'importe quelle hypothèse choisie, quelles que soient nos observations. Il s'agit donc ici d'une thèse affirmant l'impossibilité d'infirmer objectivement une hypothèse sur la base de données empiriques. Cette thèse tient son nom du fait qu'elle s'appuie, chez Quine, sur la thèse du holisme défendue par Duhem, et selon laquelle une hypothèse ne peut être confrontée à l'expérience qu'en étant conjointe à un ensemble d'autres hypothèses, que l'on qualifie d'hypothèses auxiliaires, et jamais de façon isolée.

L'auteur considère que cette thèse de Duhem-Quine est souvent perçue, de façon erronée, comme la seule alternative logiquement possible au fondationnalisme, dont l'échec est ici admis. Or, dans cet ouvrage, il s'agit justement de construire une autre alternative, qui est qualifiée de *constructivisme* et qui repose, selon nous, sur les deux affirmations suivantes.

Tout d'abord, il existe des hypothèses qui peuvent être confrontées à l'expérience indépendamment de toute hypothèse auxiliaire, de telle sorte que les résultats de l'expérience peuvent confirmer ou infirmer spécifiquement ces hypothèses. Cette première affirmation peut s'appuyer sur de nombreuses études relevant de la théorie de la confirmation.

Ensuite, lorsqu'une hypothèse est confrontée à l'expérience en étant conjointe à des hypothèses auxiliaires, et que les résultats observés contreviennent aux attentes, il est *parfois* possible d'identifier, par élimination, l'hypothèse à mettre en cause, de telle sorte que la *seule et unique* interprétation théorique valable consiste à mettre en cause cette hypothèse. La défense de cette seconde affirmation, plus problématique, est l'objet de cet ouvrage.

Dans ces conditions, la thèse de Duhem-Quine paraît n'être plus qu'une généralisation abusive, qui peut certes être valable dans certaines situations, comme l'admet parfaitement l'auteur, mais qui ne rend nullement compte d'une condition universelle ou indépassable de la recherche scientifique, ou du rapport entre la théorie et l'expérience.

L'objectif principal de l'ouvrage réside ainsi dans l'exposé de la méthode pouvant permettre parfois d'identifier l'hypothèse à mettre en cause, lorsque les résultats d'une expérience contreviennent à la conjonction de l'hypothèse testée et des hypothèses auxiliaires. Cette méthode recourt à ce que Mitchell appelle des « arbres de justification » (*constructive trees*, p. 10). Ces arbres consistent à contrôler la confirmation empirique de chacune des hypothèses auxiliaires indépendamment de la valeur de vérité de l'hypothèse testée, ou

des résultats de l'expérience. L'intérêt de cette procédure réside dans son caractère arborescent, d'où elle tient son nom. En effet, on peut contrôler de la même façon les hypothèses auxiliaires dont dépend la confirmation empirique d'une hypothèse auxiliaire, et ainsi de suite.

L'enjeu de cet exposé est double. Tout d'abord, il s'agit de démontrer sur le plan formel (ou d'un point de vue logique, pour faire écho à Quine) que le constructivisme répond bien à la thèse de Duhem-Quine. Ensuite, il s'agit de montrer que le constructivisme rend compte de la manière intuitive dont procède effectivement la recherche scientifique (ou d'ailleurs les agents cognitifs en général). Au regard de ce second enjeu, on comprend que la présentation et l'analyse d'exemples nombreux et variés de l'histoire des sciences constituent une part essentielle de l'ouvrage, et que ceux-ci ne sont pas là seulement pour illustrer le constructivisme, mais aussi pour montrer sa réalité. De ce point de vue, le travail de Mitchell a le mérite non seulement de tenir compte de nombreuses situations, mais aussi de reprendre les exemples traditionnellement employés en faveur de la thèse de Duhem-Quine, et de montrer comment ses propres analyses s'y appliquent. On peut souligner notamment sa reprise du fameux exemple de l'anomalie de Mercure, dont il propose une analyse constructiviste à rebours de celle conforme à la thèse de Duhem-Quine (pp. 89-92).

L'ouvrage est constitué de douze chapitres. Plusieurs s'apparentent à des études de cas historiques : l'étude darwinienne des populations alpines (chap. 1) ; le conflit entre héliocentrisme et copernicianisme (chap. 7). D'autres exposent des solutions à des paradoxes philosophiques que l'on trouve chez certains auteurs : Chang (chap. 6) ; Van Fraasen (chap. 10). La plupart présentent différents aspects techniques du sujet : la notion de confirmation indépendante (chap. 2) ; la question des inobservables (chap. 3) ; l'identification de l'erreur (chap. 4-5) ; la surdétermination théorique des faits (chap. 8-9). Signalons enfin que les deux derniers proposent une réflexion élargie sur les conséquences du constructivisme pour l'épistémologie générale (chap. 11) et la métaphysique (chap. 12).

Youri Cabot
Université Paris I Panthéon-Sorbonne

Sciences et philosophies

Médecins et philosophes : une histoire / sous la direction de Claire Crignon et David Lefebvre. – Paris : CNRS Éditions, 2019. – 512 p. – 1 vol. broché de 15 × 23 cm. – 26 €. – isbn 978-2-271-09287-8.

D'emblée, les auteurs nous avertissent qu'il n'est nullement question d'un ouvrage exhaustif sur les médecins philosophes et avouent que de grands noms ne sont pas abordés dans le livre. Ils expliquent également que leur point de vue est plus l'épistémologie que l'éthique. Ils inscrivent leur démarche, disent-ils, dans le temps long des échanges entre médecine et philosophie. Reprendre une quinzaine de jalons importants de l'histoire de ces échanges, afin d'éclairer la réflexion sur ce qu'est la médecine, quelles sont ses limites et ses fins propres, telle est l'ambition de l'ouvrage. À travers les chapitres successifs écrits par différents spécialistes, les questions centrales discutées sont : la médecine est-elle un art,

une technique, une science ? Ces trois dimensions de l'activité humaine se combinent-elles dans la médecine ? Et si oui, de quelle manière s'articulent-elles entre elles ?

Le parcours intellectuel qui suit l'évolution des réponses à ces questions au fil de l'histoire commence avec Platon, pour qui la connaissance n'est jamais acquise de manière définitive. Puis vient Aristote, pour qui les limites entre philosophie et médecine sont souvent floues. Quant à Sextus Empiricus, bien que plus proche des empiriques que des méthodiques, il range les deux groupes dans la même catégorie des sceptiques. On en arrive ainsi à Galien qui pose lui-même la question centrale de la relation entre médecine et philosophie. Avant d'être philosophe, le médecin de Pergame considère qu'il faut d'abord être excellent médecin, même si dès le plus jeune âge, il a fréquenté les philosophes. Il n'empêche qu'étant donné l'impossibilité, dans l'Antiquité, d'explorer l'intérieur du corps du patient, le lien entre langage et perception prend pour Galien une importance majeure. On peut considérer que sur ce point et jusqu'à un certain degré, Rhazès se situe dans la continuité de Galien, du moins en ce qui concerne la compréhension du corps humain. Mais sur des questions plus vastes, comme la cosmologie et la philosophie naturelle, Rhazès s'éloigne de son prédécesseur. Par exemple, le problème de la séparation de l'âme et du corps constitue un point de divergence entre les deux savants. Autre médecin d'Al Andalous, Averroès considère pour sa part que la médecine est un art, alors que Galien, tout comme Avicenne, en faisait une science. Cela suppose, pour Averroès, que la médecine n'a pas accès aux certitudes ce qui explique qu'elle n'atteigne pas toujours son but, à savoir la guérison.

Ces débats ont laissé des traces au sein de la postérité. Ainsi, l'aristotélisme du XVIe siècle, en Italie, continue de s'interroger sur les rapports entre la philosophie naturelle et le savoir médical. Chez les commentateurs italiens aristotélisant du début des temps modernes, on rencontre trois types d'attitudes. Pour les uns, médecine et philosophie sont des formes de savoir proches l'une de l'autre, mais autonomes. Pour d'autres, la médecine est subordonnée à la philosophie naturelle. Pour d'autres encore, la médecine représente un développement de la philosophie naturelle sans subordination épistémologique. Toutefois, Rodrigo de Castro (1546-1627), médecin juif qui a dû fuir le Portugal pour se réfugier à Hambourg, adopte un point de vue différent. Entre autres prises de position, il soutient que la nature est supérieure à l'art, mais que lorsque ce dernier vient s'ajouter à la nature et lui ouvre de nouvelles possibilités, il acquiert une puissance supérieure à celle de la nature seule.

John Locke (1632-1704) est bien évidemment incontournable. Il s'est notamment interrogé sur le choix d'une méthode qui permette d'envisager un progrès de l'art médical. L'un des problèmes auxquels il s'est attaché est celui de la diversité, objet de disputes et de querelles. Elle en devient un obstacle au progrès de la médecine, parce que dans les débats, les protagonistes refusent sa réalité et ont trop tendance à prendre sans examen une chose pour une vérité. Pourtant, dit Locke, seul l'examen rationnel des hypothèses permet de les partager plutôt que les imposer. Nous devons chercher une méthode qui nous permette d'acquérir plus de connaissances utiles à la conduite de notre vie. On sent bien ici le lien qu'établit Locke entre médecine et religion. Dans les deux cas, il s'agit de la conduite de la vie.

Poursuivant le parcours à travers l'histoire, on en vient à Kant qui fait remarquer que le conflit entre philosophie-anthropologie et médecine est issu du fait qu'elles ont une même visée pratique, hygiénique et thérapeutique, notamment en prescrivant un art de vivre. Ce faisant, elles collaborent, mais s'adonnent aussi chacune à une tâche spécifique, dans une perspective particulière. Il y a là un contraste avec l'opinion de Pierre Cabanis, pour qui la démarche médicale et la démarche philosophique ne font qu'une. Mais le même philosophe et médecin revient sur la problématique de la diversité, parmi d'autres questions.

Vers la fin du XIXe siècle apparaît un groupe particulier. Il s'agit d'élèves de l'École normale supérieure, formés dans la section des lettres et ayant acquis l'agrégation en philosophie, qui ont ensuite entamé les études de médecine et sont finalement devenus psychiatres. Ces hommes ont constitué une lignée particulière au sein de ceux qu'on a appelés les « philosophes de la République », un groupe de professionnels de l'enseignement de la philosophie se situant dans le cadre du projet pédagogique de cette IIIe République. Il s'agissait notamment de repositionner la philosophie face aux sciences positives. Ces philosophes médecins ont fait émerger une nouvelle science de l'esprit humain, la psychologie pathologique, basée sur une alliance avec la médecine du système nerveux. Leurs approches furent diverses, mais ils s'éloignèrent de la méthode expérimentale comme outil de connaissance. Leurs travaux ont à voir avec la psychanalyse, tantôt pour la soutenir, tantôt pour la critiquer vertement. Ils ont aussi trait à l'émergence d'une nouvelle discipline, la psychologie clinique.

D'autres opinions sont encore discutées à propos des relations entre médecine et philosophie. Ainsi, pour Georges Ganguilhem, toutes les deux sont des techniques. Il fait donc de la philosophie un simple instrument. Il s'oppose aussi à ceux qui prétendent que la médecine est un art, avec tout ce qui dépasse la technique elle-même.

Le dernier chapitre est consacré à Karl Jaspers qui en fait était psychiatre de formation, mais philosophe de profession. Pour lui, la différence entre comprendre et expliquer les phénomènes psychiques revêt une grande importance. Il refusait d'ailleurs toute approche explicative de ces phénomènes, mais c'était au nom d'une méthode pluraliste, faite à la fois d'un savoir empirique et de neurosciences. Mais les promoteurs de la nouvelle philosophie de la psychiatrie critiquent Jaspers en ayant un peu trop tendance à décontextualiser ses idées. Kenneth Fulford, par exemple, reproche à Jaspers d'avoir abandonné la clinique pour se « cacher dans la philosophie ». Jaspers, lui, s'interroge encore sur la place de la philosophie dans la formation et dans la pratique du médecin. Ce qui le préoccupe là est la question de l'objectivation du patient dans une situation clinique qui, elle, est hautement subjective.

Nous avons ainsi eu le bonheur de lire un livre dense et riche, mais dont les différents chapitres ont des structures de pensée peu similaires, ce qui en fait un ensemble quelque peu hétéroclite. Voilà qui est normal, car l'écrit résulte d'une lecture double et parfois même triple : on y trouve la pensée de l'auteur commenté, celle du commentateur et, parfois, celle d'un commentateur des siècles passés, appelé de temps à autre à la rescousse. Les auteurs sont des spécialistes de renom, mais qui, malgré leur souci indéniable d'objectivité et de rigueur, ne peuvent échapper à un certain rôle de filtre. On entend par là qu'il leur est naturellement impossible de s'abstenir de teindre leur exégèse d'une once, si légère soit-elle, de

leur perception personnelle. En effet, loin d'une initiation à la pensée des auteurs du passé, il s'agit d'une analyse de certains aspects de leur système philosophique. Dès lors, beaucoup de notions sont supposées connues, comme par exemple l'ensemble des écrits des auteurs analysés. Dans cet ensemble, Galien prend à notre sens trop de place, ou pas assez : il revient dans de nombreuses études qui composent l'ouvrage. Mais en se basant exclusivement sur le livre que nous commentons ici, il est impossible de se faire une idée d'ensemble cohérente de son épistémologie. À la longue, cet éternel retour Galien, bien que celui-ci soit un monument de la médecine antique, lasse… ou au contraire laisse sur sa faim. Dans l'analyse des *Doutes sur Galien* d'al-Rāzi, il est quelque peu déroutant de voir Galien, encore lui, occuper une place nettement plus grande que le médecin philosophe persan lui-même. De plus, certains auteurs ont un peu tendance à écrire de manière circulaire, en revenant en arrière pour dire différemment ce qu'ils avaient déjà dit plus haut. Notons encore qu'on a parfois l'impression que les spécialistes intervenant dans l'ouvrage, alors qu'ils annoncent une discussion sur l'opinion d'un auteur du passé, éprouvent un irrésistible besoin de faire appel à d'autres auteurs pour accomplir leur mission. Il arrive que cela donne une image de dispersion dans le débat. Ou encore, dans le chapitre sur Jaspers, on nous offre davantage un condensé des critiques émises à propos du psychiatre-philosophe qu'une explication de sa sa pensée. Dernière remarque, s'il fallait être encore plus mauvais bougre : le style n'est pas toujours optimal et la structure des phrases introduit çà et là certaines ambiguïtés (ex. : un cas de « guérison psychologique […] par reviviscence d'une scène traumatique oubliée sous hypnose » (p. 335) : qu'est ce qui se passe sous hypnose ? La guérison ? L'oubli ?…). Mais tout cela n'enlève rien au grand intérêt de l'ensemble.

Jean Andris
Centre d'études de l'histoire de la pharmacie et du médicament (CEHPM)

Wolfe (Charles), *La philosophie de la biologie avant la biologie : une histoire du vitalisme*. – Paris : Classiques Garnier, 2019. – 514 p. – (Histoire et philosophie des sciences, 20). – 1 vol. broché de 15 × 22 cm. – 56,00 €. – isbn 978-2-406-08072-5.

Comme l'écrit l'auteur, une définition de la vie n'est pas utile à la biologie en tant que science. La vie ne se définit pas. Elle s'observe. L'intérêt de ce livre porte plutôt sur les arguments utilisés pour attribuer à une entité le prédicat « vivant ».

Au XVIIIe siècle, on observe un questionnement de plus en plus intensif autour de la nature du vivant et c'est à cette période que les instances diverses d'une science de la vie émergent.

L'auteur réfléchit sur les conditions conceptuelles de l'émergence de la biologie comme science en mettant l'accent sur le cas du vitalisme et l'attention portée au statut particulier des êtres vivants. Il n'y a pas d'histoire des sciences de la vie univoque. L'auteur souligne une tension, une absence de synthèse définitive, entre des tendances plus empiriques qui privilégient l'observation et d'autres plutôt constructivistes où le rôle d'une élaboration cognitive est dominant.

Différentes approches ont été utilisées pour essayer de définir le « vivant ». On trouve des approches mécanicistes comme dans l'analogie fonctionnelle faite entre la sensation,

la pensée d'êtres possédant un certain degré d'organisation et la propriété des montres de marquer les heures. Il existe des approches vitalistes comme celle des défenseurs de l'épigenèse. W. Harvey définit celle-ci, en 1653, comme le processus par lequel l'animal est produit « par parties surajoutées », à partir de « la puissance de la matière préexistante » (p. 109)[1]. Actuellement, l'épigenèse se définit notamment comme une théorie du développement dans laquelle les caractéristiques et la structure de l'organisme adulte sont prédéterminées dans l'embryon, tout en n'y étant pas « pré-imprimées ».

L'auteur examine d'abord la vie dans un contexte matérialiste. L'âme signifie ici strictement le lieu de l'activité mentale dont le cerveau serait le substrat physique et non pas la contrainte métaphysique de la matière ou encore ce qui survit après la mort. Selon M. de Maupertuis, un physicien célèbre, « pour que les corps tels qu'ils existent aujourd'hui puissent exister et se former, la matière doit posséder des propriétés autres que simplement physiques » (p. 183)[2].

L'usage du terme « biologie » dans le sens d'un savoir biologique, médical ou physiologique a été longtemps mêlé à celui d'une philosophie naturelle et serait apparu comme tel autour de 1800. Trois conditions sont requises pour cela : un aspect phénoménal (les animaux...), un aspect taxinomique (recomposition de l'histoire naturelle dans la période post-buffonienne), un aspect critériel (définition des limites d'une nouvelle science en fonction de domaines tels que la morphologie, l'embryologie...). Il s'agirait d'une nouvelle théorie de la matière, autoorganisée, vitale et non réductible aux modèles physico-mathématiques du siècle précédent.

Les vitalistes de la Faculté de médecine de Montpellier se manifestent surtout dans la seconde moitié du XVIIIe siècle. Le vitalisme médical met l'accent sur la sensibilité et les propriétés systémiques de l'organisme. L'organisation est le pendant « matérialiste » de cette notion d'organisme ; elle est relationnelle plutôt que totalisante. Elle s'oppose aux modèles mécanistes et animistes. Il s'agit d'un vitalisme fonctionnel et non substantiel.

Autant les vitalistes apparaissent convaincants dans leur critique du modèle cartésien, autant ils se sont montrés peu crédibles suite à la grande diversité de leurs assertions expliquant le vivant. Le vitalisme substantiel pose l'existence d'une force vitale comme une substance. Les vitalistes de Montpellier, eux, ne raisonnent presque jamais en termes d'une force vitale substantielle qui guiderait l'organisme selon les lois d'une téléologie forte, intrinsèque. Quant aux vitalistes cognitifs, il s'agit chez eux d'une construction mentale, métaphysique. Comme l'a formulé plus récemment le philosophe et médecin G. Canguilhem, « l'histoire du concept d'organisme au 18e siècle se résume dans la recherche par les naturalistes, les médecins et les philosophes de substituts ou d'équivalents sémantiques de l'âme pour rendre compte du fait, de mieux en mieux établi, de l'unité fonctionnelle d'un système de parties intégrantes. » (p. 382)[3].

1. Harvey, W. (1653). *Anatomical exercitations concerning the generation of living creatures*. Londres : James Young. Ici, p. 223
2. Maupertuis, *Système de la nature*, § XXVIII, p. 155
3. Canguilhem, G. (1989). Vie. Dans *Encyclopoedia Universalis*, vol. 23, p. 551

Il y a au moins deux types de réponses à la question de la spécificité de l'organisme. Le premier, le plus philosophique, cherche à formuler des critères d'individualité dont les organismes seraient les meilleures représentations. Il invoque par exemple la nature spécifique des relations entre partie et tout. Le second type de réponse défend la singularité ontologique des organismes sur des bases biologiques, des critères empiriques définissant les organismes existants.

Pour conclure, les expressions de « vitalisme », de « biologie » apparaissent quasi au même moment qui est aussi celui où le terme « organisme » entre dans le vocabulaire technique. Plutôt que d'opposer une (bonne) théorie de l'organisme à une théorie (réductionniste donc mauvaise) de la machine, l'auteur insiste sur le caractère hybride de l'organisme. Cela dit, la biologie n'a pas besoin d'un concept organisateur pour exister et conduire ses recherches. La tentative de poser l'existence d'une science positive de la vie en se démarquant d'un contre-modèle encore trop métaphysique est, non pas vouée à l'échec, mais condamnée à un état transitoire : « Il faut être matérialiste dans la forme et vitaliste dans le fond » déclarait en son temps Claude Bernard (p. 447)[1].

Ce livre est d'un abord ardu pour celui qui n'est pas familier d'une réflexion philosophique buissonnante à propos des spécificités de l'organisme vivant. Au fur et à mesure de la lecture, toute la richesse de cette réflexion apparait de manière plus cohérente et la quatrième partie, qui a pour titre « organisme et biophilosophie », se lit avec énormément d'intérêt.

Pierre Devos
Université de Namur

Sciences et religions

Boccaletti (Dino), *The Waters Above the Firmament : An Exemplary Case of Faith-Reason Conflict*. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2020. – xi, 121 p. – 1 vol. relié de 18 × 24 cm. – 79,49 €. – isbn 978-3-030-44167-8.

Quel beau programme et qui nous semble avoir été jusqu'ici délaissé : étudier les différentes interprétations données aux trois versets du deuxième jour de la Genèse retraçant la séparation, grâce au firmament, des « eaux d'avec les eaux » (Gn, 1, 6-8). Et pour contrer l'extrême étroitesse de ce thème, le faire sur le temps long en donnant la parole à plus d'une vingtaine d'exégètes répartis sur quatorze siècles, depuis les *Homélies sur la Genèse* d'Origène (c. 240) jusqu'au *Quæstiones celeberrimæ in Genesim* de Marin Mersenne (1623). Et pour renforcer l'intérêt d'une telle enquête, annoncer, en sous-titre, qu'elle est consacrée à une thématique qui constitue un cas exemplaire du conflit entre discours scientifiques et discours religieux. Et pour que le lecteur ne se dise pas que l'« affaire Galilée » et la « révolution darwinienne » l'ont déjà parfaitement instruit à cet égard, faire ressortir, en introduction (p. viii), la spécificité du présent conflit qui, contrairement à ceux qui viennent d'être mentionnés, oppose une lecture littérale du texte biblique non pas à une nouvelle

1. Bernard, C. *Cahier de notes*, p. 200

théorie scientifique, mais bien au « simple bon sens ». Enfin, pour être sûr que la curiosité du lecteur soit à son comble, annoncer que cette monographie, dont l'intérêt du thème, particulièrement circonscrit, n'est pas particulièrement manifeste, s'adresse non pas aux experts, mais aux amateurs et aux étudiants (p. VIII). Et tout cela, avec une modestie et une humilité non feintes qui honorent indiscutablement l'auteur.

Commençons précisément par le public qui se trouve étrangement ciblé. L'auteur ne s'étant pas donné la peine de s'interroger sur l'intérêt de sa thématique pour un tel lectorat, tentons de le faire à sa place.

Ayant été scruté à l'envi durant des siècles et des siècles, chaque verset de la Bible, même le plus anodin en apparence, est susceptible d'initier les non-spécialistes à bien des thématiques. Celle qui s'impose dans tous les cas est bien sûr la question fondamentale du type d'exégèse à mettre en œuvre et, par conséquent, de l'interprétation qu'il convient de donner aux termes utilisés dans les versets considérés. Dans le cas présent, cette question se pose non seulement à propos des deux mots clés que sont « eau » et, surtout, « firmament », mais également à l'égard de cet « au-dessus » interprété par certains comme pouvant désigner tout aussi bien une supériorité en termes de lieux que de dignité. L'existence d'une providence divine étant partout affirmée dans la Bible, les trois versets retenus permettent également d'interroger la notion de finalité dans la mesure où maints exégètes justifieront l'opportunité de ces eaux supracélestes par leur capacité à rendre compte de la pluie et de la rosée matinale ou bien, plus fréquemment, à tempérer la nature ardente du ciel afin que soient notamment protégés les éléments inférieurs, et donc l'humanité. La toute grande majorité des auteurs du corpus ayant oublié la véritable cosmologie qui était de mise à l'époque de la rédaction du texte sacré — celle d'une Terre plate surmontée d'un dôme — pour adopter la cosmologie de leur temps — en l'occurrence celle d'une Terre sphérique au centre d'un cosmos qui l'est également —, l'affirmation de l'existence de ces eaux supracélestes — auparavant conforme au bon sens de l'époque — est devenue particulièrement problématique. Comment un corps, tel le firmament, qui présente une forme concave peut-il, sur sa surface convexe, retenir de l'eau sans que celle-ci ne ruisselle et, circonstance aggravante, comment le peut-il alors qu'il tourne sur lui-même ? Faut-il donc supposer que la concavité apparente de sa surface interne n'implique pas nécessairement la convexité supposée de sa surface externe ou, du moins, que cette surface externe, globalement convexe, accepte néanmoins, localement, des creux susceptibles d'abriter lesdites eaux ? Comment l'air et le feu, éléments légers, peuvent-ils soutenir un élément plus lourd, comme l'est l'eau ? Et puisque les eaux supracélestes avoisinent le feu, comment assurer cette jointure du feu — chaud et sec — et de l'eau — froide et humide — alors qu'aucun intermédiaire (*i.e.* aucune caractéristique commune) ne permet d'assurer la transition de l'un à l'autre ? Les principaux types de difficultés que nous venons de relever supposent, on l'aura compris, une connaissance minimale du géocentrisme et, plus particulièrement, de la cosmologie aristotélicienne, offrant ainsi la possibilité de les aborder. Pour résoudre ces difficultés, certains invoqueront la toute-puissance de Dieu et sa liberté de faire tout ce qu'il veut, soit autant de principes théologiques particulièrement importants nécessitant bien des commentaires, notamment quant à la légitimité de leur utilisation au sein d'une question « scientifique ». Enfin, pour donner encore deux exemples, il n'est pas jusqu'au récit du Déluge et aux propriétés attribuées à Saturne qui ne puissent être discutés, puisque

l'existence de ces eaux supracélestes fut invoquée pour expliquer le déversement des eaux opéré par le premier et la froideur de la seconde.

Si les versets retenus peuvent donc être l'occasion d'aborder, avec des étudiants et des profanes, un certain nombre de thématiques pour le moins diverses, dont la question des rapports entre discours scientifiques et religieux n'est pas la moindre, faut-il en conclure que cette monographie, elle, réunit les conditions permettant d'atteindre cet objectif ? Nous ne le pensons aucunement : il ne suffit pas qu'un livre renonce à s'adresser aux spécialistes pour qu'il soit automatiquement approprié à ceux qui ne le sont pas. Que nous offre en effet celui que nous examinons ? Une introduction à chaque époque considérée, une biographie de l'exégète interviewé, une présentation de la structure de son livre, de très longues citations entrecoupées de simples phrases de transition et enfin, très brièvement[1], un semblant de commentaire. Bref, tout, absolument tout, sauf l'essentiel, à savoir ce qui est absolument nécessaire à la compréhension des textes cités, puisque l'auteur a eu le grand mérite d'y recourir directement : des synthèses régulières du chemin déjà parcouru, des résumés des textes cités suivis de véritables commentaires faisant ressortir tout ce qu'un néophyte n'y perçoit pas forcément, sans oublier, pour commencer, un préliminaire rappelant les fondamentaux indispensables à la compréhension des différents sujets traités.

Inadaptée aux profanes et aux étudiants qui n'y trouveront pas le matériel pédagogique nécessaire à sa compréhension, inintéressante pour les théologiens déjà convaincus que la Genèse n'est pas un livre d'astronomie et qu'il est par conséquent vain de vouloir la mettre en accord avec les découvertes scientifiques actuelles ou d'y chercher des vérités scientifiques (pp. 115-117), cette monographie apportera du moins aux spécialistes un intéressant corpus de citations — dont bon nombre sont traduites pour la première fois — qu'il leur reviendra de compléter et d'exploiter, ainsi que quelques hypothèses de travail qu'ils voudront peut-être examiner. Lucide, l'auteur l'avait pressenti : il a sans doute été trop ambitieux (p. VIII). Invitons-le, s'il le peut, à remettre son ouvrage sur le métier, car cette étude diachronique pourrait s'avérer fascinante !

JEAN-FRANÇOIS STOFFEL
Haute école Louvain-en-Hainaut

FINOCCHIARO (Maurice A.), *On Trial for Reason : Science, Religion, and Culture in the Galileo Affair*. – Oxford : Oxford University Press, 2019. – 289 p. – 1 vol. relié de 16,5 × 24,5 cm. – £ 25,00. – isbn 978-0-19-879792-0.

Maurice Finocchiaro vient de publier la dernière version de ses études sur le « cas Galilée » auquel il s'est consacré au moins depuis 1989. Dans cette version, l'auteur fait une présentation compréhensive du « cas Galilée » en divisant cet événement historique de longue durée en deux étapes : le procès original de l'Inquisition contre Galilée de 1611 à 1633, qui culmine avec sa condamnation et son abjuration ; et le procès qui débute juste après la condamnation de Galilée en 1633 et qui perdure jusqu'à aujourd'hui, au sein duquel on dispute à propos du caractère juste ou injuste de cette condamnation sur la base

1. Qu'il nous suffise de donner un exemple purement quantitatif : les 150 lignes de citation de la *Somme théologique* de l'Aquinate donnent lieu à… 8 lignes de commentaires !

d'une espèce de mythe fondateur de la science et de son autonomie relativement à la religion.

Selon Finocchiaro, chacun de ces « deux procès » a une structure en deux niveaux : un niveau superficiel et un autre plus profond. Dans le procès originel de l'Inquisition contre Galilée, le niveau superficiel — constitué par l'ensemble des faits documentaires, par la correspondance et par les dépositions de Galilée pendant le procès — montre un conflit de la *religion* par rapport à la *science* dans ce qu'on a appelé la polémique théologico-cosmologique sur la compatibilité des conceptions coperniciennes avec la Bible, en particulier, sur les hypothèses de la centralité du Soleil et de la mobilité de la Terre, lesquelles semblent contraires aux textes sacrés. Par contre, au niveau profond, le conflit se manifeste sur la forme d'une opposition entre tradition et innovation et toutes ses répercussions plus profondes dans la constitution de la culture baroque et contre-réformiste. Dans le procès postérieur à la condamnation de Galilée en 1633, le conflit est celui de la *science* — basé sur le « mythe positif » de Galilée comme le héros fondateur de la science moderne injustement condamné par l'Inquisition — vers la *religion*, qui a nourri le « mythe négatif » de Galilée comme un rhétoricien, un dissimulateur et un fraudeur qui aurait utilisé la Bible pour défendre Copernic et qui, pour cela, aurait été justement condamné par l'Inquisition. Dans le deuxième procès, au niveau superficiel, le conflit continue à être entre la science et la religion, car c'est clairement une attaque de la science (et de la raison) contre la religion (et la foi), ces deux dernières étant accusées d'être des sources de superstition, d'ignorance et d'intolérance, ainsi qu'une contre-attaque de la religion cherchant à disqualifier moralement la science ; tandis qu'au niveau profond, il y a une opposition entre faits et mythes, entre la connaissance scientifique, entendue comme croyance vraie et justifiée, et la religion, conçue comme simple croyance qui ignore aussi bien les raisons qui justifient l'adoption de ses positions que celles qui s'y opposent.

La thèse de Finocchiaro est que le mode d'argumentation de Galilée, basé dans l'analyse judicieuse à laquelle il soumet les arguments contraires au mouvement de la Terre, arrivant parfois à les améliorer, à leur donner une argumentation plus articulée et plus concluante — comme dans l'argument tiré du tournoiement qui a la faculté de projeter et de disperser loin de son centre les parties du corps en mouvement ou dans celui de l'absence de parallaxe des étoiles en raison du mouvement de translation de la Terre — est un modèle d'argumentation critique qui peut fournir des leçons sur la méthode scientifique, la pensée critique elle-même et la rationalité humaine. Pour Finocchiaro, l'application de la pensée critique galiléenne permet de répondre non seulement aux critiques dirigées contre sa défense de la plus grande plausibilité du mouvement de la Terre par rapport à l'hypothèse de sa stabilité dans le premier procès, mais aussi aux critiques et distorsions adressées contre Galilée au long de ces presque 400 ans dans le procès culturel qui a suivi sa condamnation.

Dans le premier procès, la position de Galilée à propos de la question astronomique (scientifique) du mouvement de la Terre consiste à examiner avec soin les diverses objections traditionnelles au mouvement de la Terre en accumulant une série de preuves indirectes visant à établir la plus grande plausibilité de l'hypothèse du mouvement de la Terre par rapport à celle, contraire, de sa stabilité. Pourtant, ce qui est plus important, c'est que la position de Galilée à propos de la compatibilité entre le mouvement de la Terre et la Bible est inéquivoque, car, d'un côté, il nie que la théologie ait une quelconque autorité scien-

tifique — la science est autonome dans la détermination de la vérité ou de la plus grande plausibilité de ses hypothèses sur la nature — tandis que la théologie a indiscutablement une autorité morale et éthique ; mais, en revanche, pour Galilée, il n'y a pas de conflit entre la science naturelle et la religion (théologie), mais plutôt harmonie, car les deux sont issues de Dieu : la nature comme son œuvre et la Bible comme sa parole, de façon qu'elles sont l'une et l'autre soumises à une unique vérité. Dans le second procès, Galilée est accusé par les critiques — tels Pierre Duhem, Berthold Brecht, Arthur Koestler et Paul Feyerabend — d'être, en somme, un mauvais astronome, un mauvais épistémologue et, finalement, un mauvais théologien. Tandis que ses défenseurs philosophes et savants — tels Bertrand Russell, Karl Popper, Albert Einstein et Stephen Hawkins — glorifient l'héroïsme de Galilée manifesté dans sa défense de la science contre l'obscurantisme et l'ignorance de la religion. Très significative pour le second procès est la longue réhabilitation de Galilée de la part de l'Église catholique à partir de la deuxième moitié du XIXe siècle : d'abord, en 1893, avec la lettre encyclique *Providentissimus Deus* du pape Léon XIII ; ensuite, en 1979 et 1992, avec les discours du pape Jean-Paul II qui reconnaissent l'adéquation de la position de Galilée selon laquelle il n'y a pas d'incompatibilité entre le mouvement de la Terre et la Bible et qui rendent évidente l'injustice de sa condamnation.

Finocchiaro propose qu'on évite les positions extrêmes et qu'on essaie d'appliquer aux divers arguments de ce débat la pensée critique de Galilée, en cherchant à obtenir la meilleure version de ces arguments de façon à pouvoir mettre en balance les raisons en faveur et contre chacun des côtés de cette dispute apparemment interminable. Le livre de Finocchiaro est une lecture indispensable pour tous ceux qui s'intéressent à cet événement constitutif de la modernité.

Pablo Rubén Mariconda
Universidade de São Paulo

Heller (Michael), *God and Geometry : When Space Was God* / translated by Piotr Krasnowolski. – Kraków : Copernicus Center Press, 2019. – 224 p. – 1 vol. broché de 16,5 × 24 cm. – 40,39 €. – isbn 978-83-7886-396-0.

Le Professeur Michael Heller (M. H.), prêtre de l'Église catholique, est un scientifique travaillant dans le domaine de l'astrophysique. Ses réflexions attestées par de nombreuses publications portent sur les rapports entre la cosmologie et la vision chrétienne de l'univers ; elles sont conduites dans la vive conscience de l'accord substantiel entre la science et la foi, dans l'héritage de son glorieux compatriote polonais, Nicolas Copernic — et, comme le montre le présent ouvrage, *God and Geometry*, dans son sillage. Cet ouvrage est une contribution à la construction d'une philosophie de la nature prenant pour objet la notion d'espace. L'argumentation se fonde sur une relecture des étapes fondatrices de la cosmologie, et tout particulièrement de l'apport de la mise en forme mathématique.

Une première partie retrace la naissance de la cosmologie dans l'Antiquité. Platon y joue un rôle majeur dans la mesure où sa métaphysique permet un usage immédiat et structurant des mathématiques. Si élémentaire que soit le savoir du temps, l'usage de l'abstraction mathématique ouvre la porte à une « science » où s'affirme la transcendance de la raison (chap. 2). Cet usage n'est pas naïf, puisque l'adage « sauver les apparences » laisse

ouverte la porte aux interprétations des observations et surtout à des réserves ontologiques sur la nature des astres. Pourtant, dans le cadre de l'usage des concepts mathématiques pour rendre compte des phénomènes astronomiques, M. H. discerne une dimension métaphysique, en raison de la présence de la notion d'infini ; s'il relativise l'apport d'Aristote à cette question, il souligne son importance dans le néoplatonisme, pour la raison que dans cette École, l'infinité est liée à l'unité (chap. 7). C'est par ce biais que, dans une deuxième partie, M. H. croise l'apport du christianisme à la cosmologie. Sur ce point, il considère que la démarche de saint Augustin est fondatrice (chap. 8), puisqu'elle introduit la métaphysique grecque dans le champ de la réflexion chrétienne ; elle met les concepts issus de la philosophie au service de la foi — et par ce biais l'usage de la raison prend une place prépondérante. M. H. confirme cette ouverture en citant les Pères Grecs, en premier lieu Basile le Grand. Celui-ci a utilisé le concept d'infini comme médiation entre les connaissances naturelles et la théologie mystique (chap. 9). La référence à ces auteurs permet à M. H. de considérer que les concepts d'infini et d'éternité, ainsi scrutés et ensuite devenus fondamentaux en philosophie, peuvent être repris pour l'étude d'autres domaines, donc en science. Là, il s'agit plus concrètement des concepts d'espace et de temps qui sont au fondement de la recherche scientifique, tant celle des Anciens que celle des modernes et des travaux actuels — comme l'illustre un trait d'humour qui invite Schrödinger à serrer la main de Boèce (p. 109).

Après ces considérations, M. H. entre dans le domaine scientifique en traitant de manière plus précise de la cosmologie — quand les Universités médiévales sont bousculées à la fin du Moyen Âge (troisième partie). La question du mouvement est au cœur des débats. Un auteur retient son attention : Nicolas de Cues est à ses yeux fondateurs, car pour lui les symboles mathématiques ne sont pas des signes graphiques, mais des notions mathématiques ayant une dimension transcendante. M. H. insiste sur l'importance de la question de l'infinité en cosmologie : le cosmos est une entité géométrique dont il faut déterminer le centre et la circonférence. Telle est désormais la problématique selon laquelle la science avance (chap. 14) et, avec elle, la théologie (chap. 15). Le cœur de l'interrogation de M. H. est alors : peut-on introduire des concepts mathématiques dans le discours théologique sur l'univers ? Pour lui, c'est un fait : l'usage généralisé des mathématiques est devenu tel qu'il est entré dans le monde de la théologie (p. 123 *sqq.*). La question posée n'est pas seulement l'usage mathématique pour le calcul ou la détermination des formes géométriques parfaites et pensables — comme le cercle —, mais celle du mode de penser ; M. H. en voit l'effet en mettant en lien la problématique de Nicolas de Cues et celle de Georg Cantor (p. 124). C'est dans la logique de cette manière de considérer l'univers que se posent les questions théologiques, en l'occurrence la question de la présence de Dieu dans l'Univers (chap. 15). Le discours traditionnel est alors modifié. M. H. le relève à partir des questions posées par l'eucharistie (p. 132 *sqq.*), ce qui lui permet d'entrer directement dans son sujet : la présence de Dieu. Le point de clivage est celui de l'infinité de l'univers. C'est dans ce contexte (quatrième partie : la Renaissance) que se situe l'œuvre de Copernic qui impose la problématique géométrique en cosmologie et corrélativement pose la question de l'infini.

M. H. considère la figure géométrique fondamentale en cosmologie : la sphère, présentée comme « paradigme » depuis Platon. Pour en sortir, il fallut une révolution scientifique — celle dont Kepler est l'acteur principal. À ce propos, M. H. relève que cette diffi-

culté ne cesse de revenir : ainsi, hier, Einstein a-t-il rejeté le modèle d'univers en expansion, tandis qu'aujourd'hui la notion de symétrie joue un rôle fondamental en science. M. H. examine l'apport décisif de Kepler (p. 154 *sqq*.) et son écho philosophique dans l'usage du terme « harmonie » (p. 158) — s'il garde des dimensions mystiques, il impose désormais un traitement mathématique de tout ce qui relève de l'étude de la nature. Pour cette raison, selon M. H., le conflit entre Newton et Descartes (la perspective de Descartes se prolongeant chez Leibniz) est au cœur de la question cosmologique. M. H. est très critique à l'égard de Descartes ; il lui reproche une philosophie « déterministe » qui ignore la contingence de tous les phénomènes de la nature (p. 164 *sqq*.). Newton est plus soucieux de la réalité. En effet, si son maître-livre traite des « Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle », il reste dans le domaine des faits observés. Pour cette raison, Newton est, pour M. H., le vrai fondateur de la cosmologie moderne soucieuse de rendre raison de ce qui se donne à voir et à penser. Non seulement Newton se montre disciple de Galilée, mais surtout il développe sa pensée en restant dans le cadre de la tradition chrétienne du monde qui parle du « Grand Livre de la Nature » (chap. 20). C'est dans la fidélité à cette tradition que se pose alors la présence de Dieu à l'Univers pensé comme « espace euclidien ».

M. H. aborde alors la question la plus difficile pour le lecteur (scientifique, philosophe ou théologien) de Newton : la phrase de son ouvrage *Optics* où il affirme que l'espace et le temps sont le « *sensorium Dei* », terme qui désigne « un organe de Dieu » (p. 205). M. H. se contente d'y voir une métaphore pour dire que Dieu est le créateur de tout ce qui est et pour cette raison présent à tout ce qui existe. Il y voit cependant le commencement de ce qui se développera ensuite dans le monde anglo-saxon, sous le vocable « *physico-theology* ». L'ouvrage s'achève sur la reconnaissance de ce fait qui marque la pensée anglo-saxonne. Le lecteur ne peut qu'être déçu de cette fin abrupte. Certes, M. H. annonce dans l'introduction que cet ouvrage aura une suite… Mais comment ne pas regretter que, sans attendre, il n'ait pas relevé le défi posé par l'affirmation de Newton et n'ai pas donné les éléments pour le reprendre face aux interrogations soulevées par les développements de la cosmologie de notre siècle ?

Jean-Michel Maldamé
Académie pontificale des sciences

Sider (Théodore), *The Tools of Metaphysics and the Metaphysics of Science*. – Oxford : Oxford University Press, 2020. – 233 p. – 1 vol. relié de 15,5 × 24 cm. – £ 35,00. – isbn 978-0-19-881156-5.

Dans le présent ouvrage, Theodore Sider (Th. S.), philosophe américain spécialisé dans la métaphysique et la philosophie du langage, présente ce qu'il appelle « outils métaphysiques » pour une critique du scientisme. Son projet est d'entrer dans une compréhension de la science qui ne reste pas au seul plan de ses résultats (concepts et processus), mais atteint sa nature, autrement dit sa dimension métaphysique. C'est, plus exactement, un élément pour une philosophie des sciences qui se fonde sur une critique de la connaissance scientifique. L'emploi du terme « métaphysique » est lié au désir de renverser le rejet des

milieux scientistes pour qui le terme ne désignerait que des spéculations gratuites faute de vérifications. L'ouvrage se fonde sur une critique de la démarche scientifique.

Le premier chapitre précise que si le terme « outil » se rapporte à des concepts, on ne doit pas séparer leur contenu de leur usage. Or celui-ci n'est pas réduit à leur capacité pragmatique. Th. S. entend leur donner une dimension « post-modale », qui manifeste un au-delà de leur capacité d'analyse ou de description, leur structure. C'est une exigence de réalisme à l'encontre de ce qu'il appelle « nominalisme » (pp. 4-5). Dans le prolongement de cette critique, l'ouvrage se situe dans une perspective « structuraliste ». Ce terme très général désigne la manière dont est conduite l'argumentation qui a recours à l'écriture symbolique de la logique. Pour Th. S., celle-ci n'est jamais séparée d'une attention aux expressions qui ont une valeur ontologique. Ainsi « fondé sur », « dépendant de », « consistant en », « expliqué par », « vérifié par », et autres expressions qui scandent le progrès des exposés scientifiques (pp. 10-11). L'attention à l'intention qui habite la construction des exposés scientifiques se développe dans l'ouvrage dont les chapitres cherchent le maximum de clarté possible. Cette quête est structurée selon un axe : la recherche du fondement (pp. 15-19). Ce rapide relevé du chapitre liminaire, qui oriente la recherche, montre l'ambition de cette étude : sortir du scientisme immanent au pragmatisme opératoire de la méthode scientifique. Le domaine donné en exemple est le « *mind-body problem* » où se montrent les limites de l'approche aujourd'hui dominante qui écarte toute perspective ontologique (p. 21). Pour Th. S., la démarche scientifique ne saurait ignorer cette dimension. La difficulté qu'il affronte est de faire en sorte que la critique ne soit pas venue de l'extérieur, comme par surplomb, mais soit vue de l'intérieur du chemin de pensée.

Le développement de cette démarche se fait par une discussion très serrée avec les travaux où la logique formelle entend rendre raison de ce qui se donne à observer et à analyser. Sans entrer dans l'argumentation très précise des auteurs cités, notre lecture est restée attentive à la manière socratique de l'auteur. Il prend acte des considérations, des formalisations et des constructions faites par les auteurs de référence. Ensuite, il montre que cette construction repose sur des options implicites qui relèvent d'une ontologie. Un premier domaine étudié est celui de la quantification en logique. Un autre domaine est la difficulté de prendre en compte le singulier. Un troisième concerne la classification avec la mise en lumière de connexions... Th. S. montre que ce sont des actes de pensée participant d'un projet lié à un système de pensée. Le primat de l'idée exprimée de manière formelle renvoie aux paradigmes du platonisme (p. 73).

Le chapitre II prend en compte les concepts d'identité et d'existence. En se situant dans la perspective structuraliste, il montre que la mise en forme logique opère un certain réductionnisme qui enferme les faits et leurs enchaînements dans une conception restrictive de la notion de loi. Le chapitre III s'attache à ce qui est de l'ordre de la singularité ou de l'individualité — ce qui croise les questions posées traditionnellement par le nominalisme. Pour une part essentielle, l'argumentation porte sur les limites du formalisme face à l'indéterminisme. Son incapacité de donner une définition sinon par les relations formalisées vient de sa position : être une visée qui reste extérieure et ne peut atteindre la singularité. Le formalisme ne permet pas de prendre en compte le tout de ce qui advient. En particulier, il ne peut aborder la question du fondement. Th. S. pose ainsi la question de la prise en compte par la pensée de l'existence. La singularité existentielle de ce qui est étudié par la

science ne peut être reconnue. C'est une perte du point de vue d'une quête de l'intelligence de ce qui est donné à observer et à analyser. Au terme de cette critique, Th. S. note que le primat de la relation dans l'étude des phénomènes a pour effet d'effacer la richesse du réel : les relations priment sur les entités reliées entre elles, les individus sont réduits à leur position dans des structures ou encore les individus sont individualisés par les relations. Il y a de ce fait une perte de ce que nous qualifions de « réel ». Le chapitre IV prend en compte un autre aspect des données de la nature : la quantité. La critique commence par l'examen de la notion de masse et se développe dans les théorèmes qui en usent. Th. S. illustre sa critique par l'analyse des lois de l'attraction au fondement de la science classique. Il montre que cette expression conduit à une absolutisation qui correspond à l'essor de la science par extension et englobement : une loi étant toujours partie prenante d'une loi plus générale. Ce qui conduit à une absolutisation d'une forme prise par le savoir scientifique. Ce qui permet de conclure à la nécessité d'un autre regard sur le monde donné à l'observation et à l'analyse rationnelle en termes de causalité et d'interaction.

Le propos s'élargit dans la cinquième partie qui étudie la notion de théorie et ses concepts fondateurs ; il voit que cela conduit à un essentialisme et donc à s'interroger sur le « réel ». Th. S. note que la mise en forme mathématique, si utile soit-elle, construit une barrière au progrès de la pensée soucieuse d'aller toujours plus avant dans sa quête de vérité.

Au terme de ces analyses et des débats avec ses collègues logiciens ou mathématiciens, Th. S. note que la pensée ne doit pas s'enfermer dans ce qu'il appelle « fondamentalisme », expression qui signifie que l'on absolutise indûment des résultats ou des approches rationnelles. Ainsi l'esprit s'enferme-t-il dans son champ de compétence et s'interdit de voir plus largement ou plus fondamentalement ce qui devient étranger à ce qui est donné à étudier. La critique vient de l'intérieur de la pratique scientifique : c'est l'ignorance de la profondeur métaphysique des « outils » de la science qui en est la source. La quête de la vérité est bloquée. Le présent ouvrage invite à briser cet enfermement pour que la métaphysique soit reconnue comme démarche fondatrice de la vision du monde et de la conduite de la raison.

Cet ouvrage est donc ambitieux. Son mérite est de présenter une lecture critique du savoir scientifique formalisé dans la logique des quantificateurs et des inférences. Il le fait au nom d'une ontologie et pas seulement dans l'articulation des concepts.

La démarche ne prend pas en compte directement l'apport de l'herméneutique. Ainsi le projet ambitieux de Th. S. trouve sa limite dans le recours au seul langage formel où la logique reste celle de la déduction mathématique. L'ouvrage montre bien que le langage de la science reste sur le plan de ce que l'on peut appeler « opératoire ». La critique du structuralisme reste interne et l'ouverture métaphysique ne peut prendre toute la place que l'ouvrage entend promouvoir. Cette critique vient de l'extérieur ; elle peut être récusée dans la mesure où elle reste en surplomb.

La valeur de l'ouvrage vient de la méthode qui consiste à entrer dans la démarche dominante dans le pragmatisme scientifique et à montrer son incapacité à atteindre le réel dans sa singularité et donc dans l'acte par lequel il devient ce qu'il est.

Jean-Michel Maldamé
Académie pontificale des sciences

Sciences et société

Ravez (Laurent), *Introduction à l'éthique de la santé publique*. – Montpellier : Sauramps médical, 2020. – 262 p. – 1 vol. broché de 15,50 × 21 cm. – 30,00 €. – isbn 979-1-03-030270-7.

Prenant acte du « vide éditorial » (p. 9) qui caractérise la littérature francophone dédiée à l'éthique de la santé publique, Laurent Ravez nous offre une introduction complète et accessible à ce domaine particulier de la réflexion morale dont la constitution en tant que discipline est assez récente. Organisé en six parties, l'ouvrage aborde ainsi les grands enjeux philosophiques de la santé publique à l'aide d'une fluidité narrative qui articule efficacement concepts théoriques et cas concrets à travers plusieurs récits émanant de la vie de certains patients et de certains professionnels de la santé, mais aussi d'expériences propres à l'auteur. Par leur dimension vécue et incarnée, ces aspects permettent au lecteur d'appréhender plus facilement les nombreux systèmes normatifs qui cherchent à encadrer les pratiques soignantes dans un contexte global. S'il s'adresse premièrement aux néophytes — nous soulignerons le souci pédagogique de l'auteur qui, face à la technicité de certains termes, n'hésite pas à en proposer une définition dans les notes de bas de page —, ce livre peut également constituer un ouvrage de référence pour celles et ceux qui souhaiteraient approfondir les nombreuses dimensions de ce champ réflexif. En effet, Ravez a été particulièrement attentif à ce que son propos s'enrichisse d'informations complémentaires et de nombreuses références (en français, lorsqu'elles existent) rendant par conséquent tout développement ultérieur plus aisé. Enfin, il convient de remarquer la perspective culturelle et historique qui émaille régulièrement l'ouvrage et qui permet d'expliciter le contexte à partir duquel — et sur lequel — nous sommes invités à réfléchir. Car c'est bien souvent à l'aune des représentations culturelles et des évènements sociopolitiques et que les théories éthiques se sont raffinées et se raffinent encore.

L'une des spécificités de l'ouvrage réside dans sa volonté de situer l'éthique de la santé publique par rapport à l'éthique en général et, plus particulièrement, à la bioéthique dont elle est une sous-spécialité (p. 10). Ainsi, partant du principe que la condition humaine nous pousse à la réflexion éthique et que cela se vérifie d'autant plus dans l'univers de la clinique au sein duquel les singularités du patient et du soignant doivent constamment s'adapter (p. 23), l'auteur aborde dès la seconde partie du livre les éléments essentiels pour comprendre de quoi relève l'« éthique des soins de santé » envisagée ici comme synonyme de « bioéthique ». Ravez et ses collègues considèrent en effet que ces deux expressions désignent le même type de réflexion philosophique dans la mesure où la définition du terme « bioéthique » a largement évolué au cours du temps : d'une réflexion critique portant principalement sur les conséquences morales des progrès biomédicaux, la bioéthique s'est progressivement élargie pour intégrer aujourd'hui des aspects aussi variés que les déterminants sociaux, politiques et environnementaux de la santé (p. 27). C'est donc à l'aide de plusieurs éléments historiques (non exhaustifs), illustrant la « logique sacrificielle » (p. 46) d'un certain utilitarisme médical rendu tristement célèbre, que la seconde partie de l'ouvrage retrace l'émergence du mouvement bioéthique avant d'envisager le princi-

plisme de Beauchamp et Childress[1]. Encore une fois, nous saluerons le souci pédagogique de l'auteur qui s'est efforcé de traduire les principes de cette théorie normative sous forme de quatre grandes questions pratiques qu'un professionnel de la santé peut être amené à se poser afin d'en évaluer les conséquences d'un point de vue éthique. Nous découvrons de cette manière que si le principlisme offre bel et bien des repères généraux pour penser la pratique du soin, ce modèle reste néanmoins limité dans la mesure où il trahit globalement un « manque d'épaisseur humaine » (p. 68), dimension qui se révèle d'autant plus problématique dans le cadre de la « santé publique » que Ravez aborde frontalement à partir de la troisième partie du livre en soulignant d'entrée de jeu la difficulté à définir un tel concept — et la nécessaire absence de neutralité pour ce faire. Dans un souci opératoire, il préfère s'arrêter sur trois caractéristiques essentielles de la santé publique (liées à son aspect populationnel, préventif et collectif) avant d'aborder les déterminants sociaux de la santé, car, c'est un fait, « l'inégalité nuit gravement à la santé » (p. 84). Viennent ensuite les questions habituelles qui traversent ce champ philosophique particulier : comment définir la santé et la maladie ? Ces concepts renvoient-ils à une situation objective ou à des appréciations subjectives ? Quels sont les impacts de ces conceptions sur les politiques de santé publique ? etc. À l'aide d'exemples concrets, Ravez souligne le nécessaire recours à des « approches hybrides » (p. 96) pour penser une véritable « éthique de la santé publique », discipline qui sera définie à la fin de cette troisième partie. À partir de là, il s'agira de se demander quelles théories éthiques peuvent légitimement encadrer la santé publique en passant en revue les théories classiques (et moins classiques) et en présentant une forme de « principlisme adapté » (p. 177), lequel ne retient de la théorie originale que le nom et peut articuler jusqu'à huit principes normatifs[2], ou encore les cadres de référence de Nancy Kass[3] et de Grill et Dawson[4]. Tous ces modèles, que l'auteur veille toujours à illustrer concrètement, tentent d'intégrer au mieux les nombreuses contraintes qui pèsent sur les prises de décision en termes de santé publique comme l'identification des inconvénients effectifs ou potentiels d'une intervention, le recours à des moyens le moins coercitif possible ou la prise en compte de l'impossibilité de hiérarchiser les valeurs dans un contexte de pluralisme moral. La sixième et dernière partie de l'ouvrage traite quant à elle des maladies infectieuses dont la caractéristique éthique essentielle demeure dans le fait que les personnes qui en sont atteintes sont à la fois des victimes et des vecteurs de la propagation, ce qui n'est pas sans faire écho à la crise sanitaire de la Covid-19 que l'auteur aborde partiellement étant donné le peu de recul dont nous disposons actuellement pour analyser cette pandémie (p. 214), et ce contrairement à ce que l'illustration et la quatrième de couverture du livre pourraient laisser penser.

1. Beauchamps, T. L., Childress, J. F. (2008). *Les principes de l'éthique biomédicale* (traduit de l'anglais par M. Fisbach). (Médecine et sciences humaines). Paris : Les Belles Lettres.
2. Voir par exemple Upshur, R. E. G. (2002). Principles for the Justification of Public Health Intervention. *Canadian Journal of Public Health*, 93(2), 101-103 et Battin, M. P., *et al*. (2009). *The Patient as Victim and Vector : Ethics and Infectious Disease*. New York : Oxford University Press.
3. Kass, N. E. (2001). An Ethics Framework for Public Health. *American Journal of Public Health*, 91(11), 1776-1782.
4. Grill, K., & Dawson, A. (2017). Ethical Frameworks in Public Health Decision-Making: Defending a Value Based and Pluralist Approach. *Health and Care Analysis*, 25(4), 291-307.

En guise de conclusion, nous dirons que l'ouvrage de Laurent Ravez remplit parfaitement son objectif qui consistait à fournir une introduction francophone accessible à cette discipline relativement récente qu'est l'éthique de la santé publique. Cet ouvrage pourra également servir de support pour un cours philosophique de niveau universitaire. Nous ne pouvons donc que nous réjouir des éditions ultérieures.

Geoffroy De Brabanter
Université de Namur & ESPHIN

Mathématiques

Carassus (Laurence), *Probabilités : licence 3 & master 1 ; capes et agrégation ; écoles d'ingénieurs ; cours complet ; fiches de synthèse ; 91 exercices et problèmes corrigés*. – Louvain-la-Neuve ; Paris : De Boeck supérieur, 2018. – 352 p. – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – 27,00 €. – isbn 978-2-8073-1320-0.

L'indication est claire : ce livre s'adresse à celles ou ceux en licence ou master I, mais aussi bien en écoles d'ingénieurs, qui veulent s'initier sérieusement aux probabilités, et l'auteure affiche le chiffre — improbable ? — de 91 exercices et problèmes corrigés. Mais il est ajouté que l'enseignement correspondant est plutôt court : une trentaine d'heures. Le but est le théorème central limite qui survient à la page 251, l'ouvrage en comptant 349. Le ton est plutôt dégingandé : on apprend ainsi à « cuisiner » des propriétés de l'intégrale. Dans le premier tiers du livre apparaît l'intégration de Lebesgue, présentation dite « à grande vitesse ». Paradoxalement, du moins si on s'en réfère à ce ton, il est abusé des notations, et les explications en termes ordinaires sont le plus souvent absentes. Ainsi, page 165, il est juste signalé, malgré leur « grossièreté » l'inégalité de Markov, puis celle de Bienaymé-Tchebichev, toutes les deux explicitées en notations, mais pas un mot de plus. C'est un choix ! Le livre est certainement très utile pour ceux qui entendent réviser. Il est vrai qu'il y a des fiches de synthèses bien présentées. Mais pour les inégalités juste mentionnées, elles sont simplement répétées en notations sans plus dans une telle fiche. Évidemment, les notations risquent l'erreur de temps à autre, par exemple dès la page 5, où l'ensemble des ouverts d'une topologie sur un ensemble est dite appartenir à cet ensemble, juste parce qu'on a oublié d'indiquer un P pour l'ensemble des parties. Aucune gravité bien sûr !

Il n'y a pratiquement pas d'indications historiques, et d'ailleurs la première commence bien mal puisque Fermat est affublé des prénoms de Pierre et Simon, sans doute par erreur de coller-copier avec Laplace qui survient quelques lignes plus loin. Pour pinailler encore, Bernoulli est prénommé Jakob, mais cette écriture n'est devenue usuelle qu'avec le monde nazi, Jacob satisfaisant bien les Bâlois d'alors.

Jean Dhombres
Centre national de la recherche scientifique
École des hautes études en sciences sociales

Astronomie et cosmologie

DANIEL (Jean-Yves) & PETER (Patrick), *Cosmologie : la science de l'univers*. Louvain-la-Neuve : De Boeck supérieur, 2019. – 284 p. – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – 32,00 €. – isbn 978-2-8073-2124-3.

La cosmologie est probablement la sous-discipline la plus frappante pour l'imagination et la plus déconcertante de l'astrophysique contemporaine. *Cosmologie : la science de l'univers* est un manuel d'introduction à la cosmologie théorique. S'il existe de nombreux ouvrages d'initiation à la cosmologie actuelle, il y a carence de traités de niveaux élevés qui abordent de front ses fondements en physique théorique et en mathématiques pourtant nécessaires pour bien la comprendre. Préparé par deux spécialistes chevronnés, cet ouvrage affronte ce défi et le relève avec succès ; il est donc fort bienvenu. Clairement destiné aux étudiants des classes supérieures, il suppose déjà de bonnes connaissances et de solides acquis en mathématiques.

Un des atouts majeurs du livre est l'ensemble de plus de 75 problèmes corrigés ; ils sont abordés sous forme de « problématiques » pour le chapitre 1 et d'« exercices » pour les chapitres 2 à 4. Les solutions sont esquissées ou présentées avec détails, et offrent l'avantage de laisser à l'étudiant une plage de manœuvre pour l'exploration de ses propres avenues.

Les auteurs présentent au fil de l'ouvrage les éléments de l'histoire de l'astronomie et des connaissances de base en astronomie qu'ils jugent nécessaires. Ces éléments sont à mon avis insuffisants. Je suggérerais aux enseignants et aux étudiants d'avoir aussi en main un bon ouvrage d'astrophysique contemporaine pour une consultation en parallèle. Il en est de même pour les principes de l'électromagnétisme et de la thermodynamique, dont la brève présentation peut s'avérer indigeste et périlleuse pour l'étudiant arrivant du secteur mathématique. Encore une fois, les auteurs en font un résumé élégant, mais l'étudiant devra s'assurer de leur compréhension en consultant quelques ouvrages plus conventionnels.

Les quatre chapitres du livre abordent l'ensemble des fondements et des acquis de la cosmologie sous la forme de quatre questions simples : 1. D'où vient la cosmologie ? ; 2. De quoi avons-nous besoin pour fonder la cosmologie ? ; 3. Qu'est-ce, en pratique, que la cosmologie ? ; 4. Que sont les grandes interrogations posées à et par la cosmologie ? Le chapitre 1 résume la pensée cosmologique ancienne qui prend fin avec l'apport révolutionnaire de la relativité générale et les interprétations dynamiques de l'espace-temps par Alexandre Friedmann et Georges Lemaître. Au chapitre 2, on trouve les principes de physique et de mathématiques qu'il faut maîtriser pour saisir à plein le contenu des chapitres qui suivent. Les chapitres 3 et 4 dressent l'ossature physique et mathématique de la cosmologie contemporaine avec l'introduction et l'utilisation des géométries non euclidiennes pour décrire l'espace-temps et l'emploi du calcul tensoriel. Les auteurs ont porté une attention particulière à dériver, à partir des formulations mathématiques, les « prédictions » et les applications à l'univers physique observé par les astronomes.

La facture du livre est irréprochable. Les quelque 100 illustrations sont excellentes : elles sont claires, informatives et les légendes sont détaillées, ce qui témoigne de l'attention qui a été apportée à leur choix et à leur production. Les figures sont utilisées dans le

corps principal du texte et dans les sections « solutions » à la fin de chacun des chapitres. Certaines des illustrations sont reprises sous forme de planches couleur insérées à la fin de l'ouvrage.

La présentation du livre est belle avec un texte aéré, des aires colorées permettant de bien distinguer plusieurs des équations et les sections de problèmes. L'éditeur a évidemment pris au sérieux ces dimensions graphiques dont l'importance compte au plan pédagogique.

En début de l'ouvrage, on lit avec plaisir le trop court encadré de Jean-Philippe Uzan sur « Les constantes de la Nature ». À la toute fin de l'ouvrage dans une section intitulée « Cosmologie et ontologie », les auteurs s'avancent sur quelques considérations d'ordre épistémologique. Leurs propos sur la matière sombre et l'énergie noire sont bien posés ; les auteurs s'en servent pour illustrer la limite des connaissances actuelles, et ils nous rappellent que les surprises sont de mise en histoire de la cosmologie. Ils demeurent prudents en se limitant à une critique retenue du « principe anthropique », et leur avertissement à propos des pièges téléologiques est pertinent.

Si vous cherchez un manuel *en français* pour enseigner la cosmologie aux cycles supérieurs, celui de Daniel et Peter est un excellent choix. Les étudiants qui en auront maitrisé l'ensemble des éléments pourront participer aux recherches dans le domaine. Un cours d'astrophysique régulier pourra aussi exploiter le contenu du chapitre 4, « Les défis de la cosmologie », pour faire état des questions actuelles.

Deux critiques : 1°) la bibliographie de 13 ouvrages est trop limitée et restrictive ; 2°) l'absence d'un index est malheureuse et diminue l'utilité de ce manuel comme ouvrage de consultation.

JEAN-RENÉ ROY
Université Laval

SPAGNOU (Pierre), *Le trésor des ondes gravitationnelles*. – Paris : CNRS éditions, 2020. – 214 p. – 1 vol. broché de 15 × 23 cm. – 25,00 €. – isbn 978-2-271-12422-7.

Il ne faut pas se méprendre sur le titre quelque peu aguicheur de ce livre. Cet ouvrage d'introduction traite de manière concise des ondes gravitationnelles et de leur découverte. L'auteur, physicien et ingénieur, y présente rigoureusement et clairement les fondements de l'électromagnétisme et de la relativité sous-jacents aux ondes gravitationnelles, leur histoire rocambolesque, les défis de la conception et du fonctionnement des observatoires destinés à les détecter, ainsi que les objectifs et concepts des projets futurs au sol et dans l'espace.

Confirmation d'une prédiction que fit Albert Einstein en 1916, la détection par l'observatoire LIGO, le 14 septembre 2015, d'ondes gravitationnelles (évènement catalogué sous l'appellation GW150914) représente une étape remarquable et spectaculaire de l'avancement de la physique et de l'astrophysique et une étonnante réalisation de physique expérimentale et d'astronomie observationnelle. Spagnou accorde une importance

particulière à l'évènement GW170817, du 17 août 2017, correspondant à la fusion de deux étoiles à neutrons. Si les astrophysiciens s'attendaient à ce que la majorité des sursauts d'ondes gravitationnelles provienne de la coalescence de paires d'étoiles à neutrons, relativement abondantes dans l'univers, il n'en est pas ainsi. Les fusions de trous noirs dominent.

L'intérêt de GW170817 réside dans l'observation quasi simultanée, par l'Observatoire spatial Fermi, d'un sursaut de rayons gamma dont la position dans le ciel fut suffisamment bien définie pour un suivi en lumière visible. En quelques heures, un flash lumineux fut photographié dans la galaxie NGC 4993, une spirale normale située à environ 144 millions d'années-lumière.

Le premier observatoire des ondes gravitationnelles a été LIGO (Laser Gravitationnal Wave Observatory) aux États-Unis. La construction des éléments de base avait débuté à partir des années 1980 grâce au support de la National Science Foundation (NSF). Constitué de deux détecteurs, LIGO a été construit dans les années 1990 et 2000 sur deux sites distants de 3000 km, l'un en Louisiane (Livingstone) et l'autre dans l'état de Washington (Hanford). Avec l'entrée en fonctionnement de l'observatoire européen VIRGO qui suivit à la fin des années 2010, nous assistons à l'arrivée d'une véritable astronomie des ondes gravitationnelles.

LIGO & VIRGO auront bientôt de la compagnie au Japon. Avec des bras de 3 km, KAGRA aura l'avantage d'être souterrain, donc moins sensible aux bruits séismiques de surface. Spagnou brosse un tableau succinct des projets futurs au sol et dans l'espace. Ces concepts sont extrêmement ambitieux et ne pourront se réaliser que dans le cadre de grandes collaborations internationales.

Le lecteur appréciera le retour sur les notions de base dans le chapitre « Qu'est-ce qu'une onde électromagnétique ? » ainsi que la présentation d'éléments de relativité restreinte et générale comme le principe d'équivalence et la désynchronisation des horloges. L'auteur avertit des limites des analogies : par exemple, la représentation de l'espace-temps et la description de la propagation des ondes mécaniques par un plan élastique, comme celui d'un trampoline, peuvent être trompeuses. L'histoire de ces ondes élusives et des efforts pour les détecter est bien résumée par Spagnou.

Pour clore l'ouvrage, Spagnou présente une foire de 30 questions et réponses : une section inusitée et fort intéressante. Si on se réjouit d'un lexique des termes techniques employés, il faut regretter l'absence d'index : un ouvrage de cette nature serait, si indexé, plus aisément consulté par les enseignants, les astronomes ou les physiciens préparant une conférence pour le grand public. Pour une initiation aux ondes gravitationnelles, cet ouvrage convient admirablement, et la bibliographie offre les pistes pour approfondir cet immense sujet.

Jean-René Roy
Université Laval

Physique

Al-Khalili (Jim). *The World According to Physics*. Princeton ; Oxford : Princeton University Press, 2020. – 313 p. – 1 vol. relié de 12 × 18,50 cm – USD 16.95 – isbn 978-0-691-18230-8.

« *This book is an ode to physics* ». Ainsi commence le fascinant petit livre de Jim Al-Khalili. Ce dernier, professeur de physique à l'Université du Surrey, est très connu au Royaume Uni pour ses qualités de communicateur scientifique et a d'ailleurs écrit de nombreux ouvrages de vulgarisation scientifique. Il était tombé amoureux de la physique comme adolescent, poussé sans cesse par des questions plus fondamentales les unes que les autres : de quoi sommes-nous faits ? D'où venons-nous ? L'univers est-il fini ou infini ? A-t-il eu un commencement ? Aura-t-il une fin ? Qu'est-ce que le temps ? Quelle est cette chose mystérieuse appelée mécanique quantique ? Etc., etc. Il est donc devenu physicien…

Son point de départ est que les merveilles de notre univers devraient pouvoir être appréciées par tout un chacun, quelle que soit sa formation, scientifique ou non. Son but dans ce petit livre est de montrer pourquoi la physique est si merveilleuse, pourquoi elle est une science aussi fondamentale et pourquoi elle est si cruciale pour la compréhension du monde (ce sont les mots de l'auteur). Il va donc parcourir, sans aucune équation, l'ensemble du domaine, depuis les notions de base jusqu'aux développements les plus récents, qui semblent parfois incroyables.

Au début, l'auteur commence par un chapitre consacré à une série de concepts sous-jacents à la physique : échelle, universalité, symétrie, réductionnisme. À la suite de quoi, il introduit, en autant de chapitres, les concepts fondamentaux : espace et temps, énergie et matière (qui ne sont pas aussi évidents ou intuitifs qu'on pourrait le croire…). Il décrit ensuite les trois piliers de la physique moderne : la théorie quantique, la relativité et la thermodynamique, puis montre pourquoi les trois sont nécessaires pour avoir une compréhension complète de la réalité. Tout cela est illustré par des exemples et des analogies, allant de l'infiniment petit (le monde quantique) à l'infiniment grand (la cosmologie). L'avant-dernier chapitre est consacré à l'interaction entre théorie et expérience, qui a mené aux technologies sur lequel le monde actuel est bâti. À titre d'exemple, la mécanique quantique a permis de comprendre le fonctionnement des semi-conducteurs et d'inventer les puces de silicium, base de toute l'électronique (actuelle). Autre exemple, les corrections de la relativité générale à la mécanique classique sont indispensables pour obtenir un GPS suffisamment précis. Dans le dernier chapitre, enfin, l'auteur explore la notion de vérité scientifique, base de la recherche en science, grâce à la séquence : hypothèse et modèle théorique → expérience → confirmation ou rejet → modification des hypothèses. Au moment où tant de gens rejettent la science et/ou ne comprennent pas la démarche scientifique, ce chapitre est d'une actualité brûlante !

À mon avis, nous sommes ici en présence d'un petit bijou. Arriver à parcourir en moins de 300 pages un aussi vaste panorama, tout en restant très agréable à lire, est un réel tour de force. On ne peut que le recommander chaudement à tous ceux qui se croient incapables de comprendre et d'apprécier la physique — et à tous les autres ! L'ouvrage a d'ailleurs

reçu des commentaires très flatteurs de plusieurs physiciens de haut vol, tels que Franck Wilczek, Sean Carroll ou Jocelyn Bell Burnell. Comme dit l'auteur, comment peut-on ne pas aimer la physique ?

Jean-Pierre Antoine
Université catholique de Louvain

Sciences de la Terre

Paugy (Didier) - Lévêque (Christian), *Le lac Victoria : un écosystème bouleversé par l'Homme*. – Paris : Éditions des archives contemporaines ; Marseille : Institut de recherche pour le développement, 2018. – 1 vol. électronique. – 7,99 €. – isbn 978-2-7099-2649-2.

Cet excellent ouvrage a le grand mérite de rassembler et de synthétiser l'essentiel des multiples informations relatives aux caractéristiques de ce grand lac africain et à son fonctionnement évolutif sous la pression croissante de la population riveraine qui l'exploite tous azimuts et le pollue sans vergogne.

En 16 chapitres complémentaires, les auteurs posent et prônent d'emblée l'approche anthroposystèmique dynamique. Il devient en effet indispensable dans la gestion des grands lacs de changer d'optique et d'englober la simple approche écosystémique dans une réalité et perspective systémique à 360°. La démographie humaine galopante avec toutes ses activités lacustres (pêche, introduction d'espèces) et périlacustres (agricoles, urbanistiques, industrielles) implique que l'*Homo sapiens* fait partie intégrante de la biocénose lacustre et donc de l'écosystème lacustre qu'il influe de plus en plus, souvent malheureusement, en le dégradant (pollutions, eutrophisation, réduction des stocks de poissons marchands habituels et introduits, etc.).

Après avoir rappelé l'origine et la genèse liée à la tectonique des plaques de ce grand lac tropical ainsi que les influences climatiques qui l'ont conduit à plusieurs périodes d'assèchements dont la dernière remonte à 17.000 ans, les auteurs démontrent que ses variations continuelles de niveau sont depuis lors liées essentiellement au cycle des pluies dans son bassin hydrographique. Mais les caractéristiques physiques et chimiques de ses eaux sont loin d'être stables et tendraient même vers l'anoxie résultant des apports humains en nutriments. Cela aurait des conséquences fort dommageables pour la biodiversité originelle du lac qui suite à l'introduction du *Lates niloticus* a déjà connu la perte d'un grand nombre d'espèces de ce fameux genre *Haplochromis* (le vivier de Darwin).

La faune ichtyologique du lac connaît, en effet, de fortes modifications de sa biocénose et de sa production depuis bien avant l'introduction contestée de la perche du Nil (*Lates niloticus*). À ce propos, les auteurs font un constat détaillé et très instructif de l'évolution de ce système biologique lacustre (macrophyes, phytoplancton, zooplancton, faune benthique...) qui réorganise ses chaînes trophiques et qui connait curieusement *in fine* une productivité ichtyologique globale plus importante en termes de biomasse, mais pas en terme économique vu la nette diminution, après invasion spectaculaire, des captures de perches du Nil.

Toute cette évolution imposée par les activités humaines rebondit sur les méthodes de pêche qui elles-mêmes doivent aussi évoluer et s'adapter à l'évolution des stocks des captures de poissons. Déjà dès le début du XXe siècle, les autorités administratives s'inquiètent de mieux gérer les pêches, source importante de stabilité, de revenus des pêcheurs, de sécurité alimentaire. Ce qui n'empêche pas que vers les années 1950, la pêche se dégrade, ce qui conduit aux introductions de tilapias allochtones, puis plus tard du *Lates niloticus* avec son boom remarquable sur le plan économique, mais désastreux sur le plan biodiversité, puis sa surexploitation et la chute qu'il connait actuellement due notamment à la pêche illégale (trop petites mailles des filets), légèrement compensée maintenant par la pêche au petit Cyprinidae : *Rastrineobola argentea*, devenu très abondant.

Ce vaste tour d'horizon amène les auteurs à conclure que ce grand lac Victoria a toujours connu des changements qui ont toujours nécessité des adaptations, phénomènes qui ne sont pas prêts de s'arrêter et qui indiquent que cet écosystème, mieux cet anthroposystème, est sur une trajectoire évolutive dont les prochaines étapes sont difficilement prévisibles à l'instar des théories écologiques spéculatives et incertaines qui ont bien souvent été proclamées.

On retiendra toutefois que jusqu'à présent la pêche a été incontrôlable, comme c'est le cas actuellement dans presque tous les lacs et rivières continentales africaines, mais à la différence des auteurs, on peut penser qu'en impliquant les associations de pêcheurs dans la réglementation de l'exploitation de leurs ressources, il devrait y avoir moyen de revenir à une pêche durable basée sur le rendement maximum équilibré.

Notons enfin la bonne illustration (figures, tableaux et photos) et la présence d'encarts synthétiques très explicites et très pédagogiques qui contribuent à rendre cet excellent ouvrage attrayant et indispensable pour toute personne intéressée par ce grand lac (étudiant, enseignant, professionnel, administratif et même commun des mortels).

JEAN-CLAUDE MICHA
Université de Namur

Sciences médicales

AGUR (Anne M. R.) - DALLEY (Arthur F.), *Atlas d'anatomie de Grant* / traduction de la 14e édition américaine par Elisabeth VITTE et Jean-Pol BEAUTHIER (pour les membres). – Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, 2019. – xix, 877 p. – 1 vol. relié de 27,6 × 23,3 cm. – 75,00 €. – isbn 978-2-8073-2080-2.

Il s'agit de la traduction française (2019) de la 14e édition américaine (2017) du *Grant Atlas of Anatomy*. Elle est l'œuvre commune d'une oto-rhino-laryngologiste de l'hôpital Bichat à Paris et d'un médecin légiste belge, professeur à l'ULB, Jean-Pol Beauthier. La première édition de cet atlas remonte à 1943. Il constitue aujourd'hui la référence la plus détaillée pour l'apprentissage de l'anatomie humaine.

Cet atlas propose non pas une vue idéale de l'anatomie humaine, mais des illustrations en 3D de différents types (dessins, radiographies, échographies, IRM, TDM…) tant pour les dissections que l'étudiant effectue au laboratoire que pour les examens qu'effectue le praticien. Ainsi, pour prendre un exemple, les zones de palpation sont indiquées sur les planches appropriées. Des tableaux de synthèse sont associés aux illustrations.

L'objectif des auteurs, qui est de permettre à l'utilisateur d'interpréter les illustrations sans devoir se référer à des explications exhaustives, est atteint. Il y a très peu de texte en bas de page. Il sert uniquement à compléter succinctement ce que le schéma ou la photo ne peuvent faire.

Les séquences d'illustrations vont du plan superficiel au plan profond et le font sous différents angles. Présentées d'abord de manière isolée, les différentes composantes anatomiques que sont les muscles, vaisseaux sanguins, nerfs… sont bien intégrées dans des schémas plus complexes.

Les mouvements des os et muscles, particulièrement au niveau des articulations des membres, sont indiqués par des flèches et accompagnés de leurs corrélations radiographiques, ce qui introduit l'étudiant à l'analyse correcte des documents devant servir de base à un diagnostic.

L'aspect pathologique ou clinique est également abordé de manière brève quand cela s'indique.

Il s'agit d'un document de base et de référence qui ne peut qu'être recommandé aux étudiants en médecine, kinésithérapie et ostéopathie.

PIERRE DEVOS
Université de Namur

Sciences de l'homme

OTTE (Marcel), *Sommes-nous si différents des hommes préhistoriques ? Pour une nouvelle alliance avec la nature*. – Paris : Éditions Odile Jacob, 2020. – 242 p. – 1 vol. électronique. – 24,90 €. – isbn 978-2-7381-5188-9.

Docteur en histoire de l'art et archéologie, Marcel Otte a enseigné la préhistoire à l'Université de Liège. De nombreuses fouilles, menées sur les cinq continents, lui ont permis de rassembler des informations renouvelées sur les *mouvements culturels* à long terme.

Dans son dernier livre, il nous présente *sa vision* de l'histoire mondiale de l'humanité depuis 4 millions d'années, en se focalisant toutefois sur l'Europe, pour la période débutant avec l'Homme de Néandertal. Sa double thèse est reflétée dans le titre et le sous-titre. En effet, selon Otte, premièrement, notre « *immense passé*[1] […] est pleinement le reflet de ce que nous sommes le plus fondamentalement aujourd'hui. Et il permet d'en comprendre

1. Tous les caractères italiques sont ajoutés ici.

les mécanismes constitutifs organisés au fil du temps, c'est-à-dire qu'il revient à *nous comprendre nous-mêmes* » (p. 226). Deuxièmement, d'après ce préhistorien, « Il ne fait aucun doute que la *spiritualité*, aux origines même de notre espèce, constitue la seule voie authentique *vers un avenir* digne de nos origines : *l'humanité s'est faite par la pensée et c'est par elle qu'elle se sauvera* » (p. 230).

Car elle se trouve actuellement face à « la nécessité de *reconstruire de nouvelles valeurs acceptées collectivement* » (p. 220).

Suivant un ordre chronologique, l'ouvrage est subdivisé en quatre parties, comportant chacune de deux à trois chapitres, dont les titres (repris systématiquement ci-dessous entre guillemets) sont très éclairants pour cerner le point de vue de l'auteur.

La *première partie* est intitulée « Aux origines, le comportement l'emporte sur l'anatomie (de *4 millions d'années à 500 000 ans*) ». Le premier chapitre (intitulé : « Quand l'outil prolonge le membre ») évoque essentiellement des données morphologiques et comportementales de l'Australopithèque et de l'*Homo erectus*. Le deuxième chapitre a pour titre « La maîtrise du feu », mais, curieusement, n'évoque qu'accessoirement ce thème.

« Les sociétés humaines se constituent (de *500 000 à 50 000 ans*) », c'est ce qu'annonce le titre de la *deuxième partie*. Le chapitre 3 concerne « La vie après la mort » et le chapitre 4, très intéressant, replace « Neandertal dans son univers ».

Quant à la *troisième partie*, elle a pour thème : « L'homme moderne entre en scène (de *50 000 à 10 000 ans*) ». Le chapitre 5, passionnant, est intitulé « Une pensée nouvelle ». Il est consacré à différentes vagues migratoires de peuples *sapiens*, *proto-indo-européens*, ayant déferlé sur l'Europe, déjà occupée, il y a 50 000 ans, par les Néandertaliens. « L'essentiel des migrations humaines sur les territoires septentrionaux se fait du levant vers le couchant, parallèlement aux mouvements solaires qui semblent guider les déplacements des jours, des animaux et des hommes » note Marcel Otte (p. 96). Et il poursuit : « La vague la plus déterminante semble appartenir à la civilisation de l'*aurignacien* [...], qui se diffuse à partir des chaînes du Zagros et de l'Afghanistan, voire du nord de l'Inde » (p. 97). Cette vague comporte, semble-t-il, deux cheminements successifs : la voie méridionale et la voie danubienne (qui arriva notamment sur le territoire de la Belgique actuelle). Elle se traduit par une pression démographique sur les populations autochtones et par un apport de pratiques inédites, « monte [de chevaux], arts [cf. par ex. celui de la Grotte Chauvet, datée de 36 000 ans], outils osseux » (p. 98). Et, selon Otte, tout cela « modifie profondément la pensée des Néandertaliens, qui s'éteignent progressivement — non parce qu'ils sont exterminés, mais parce qu'ils ont perdu la foi en leur propre mode de vie » (p. 98).

Ensuite, d'après le préhistorien, une deuxième série de vagues, issues d'Asie centrale et de Sibérie, déferle sur les latitudes moyennes du continent européen. Elles apportent des traditions dites *gravettiennes*. Puis, il y a environ 20 000 ans, arrivent en Europe occidentale, via Gibraltar, des populations venant de l'Afrique du Nord : c'est le début de la civilisation *solutréenne*, à laquelle appartiennent, selon Otte, les chefs-d'œuvre de Lascaux (datés d'environ 18 000 ans). Et c'est justement à « l'avènement des œuvres d'art » et à leur évolution au Paléolithique supérieur qu'est consacré le chapitre 6. Il prend en compte les dimensions picturales, sculpturales et même, possiblement, musicales de cet art. Le pré-

historien y souligne notamment que l'image « devient la rivale de la nature et le décalage qu'elle instaure désormais reflète aussi la *libération des hommes par rapport aux lois naturelles* » (p. 115). Et il ajoute : « La maîtrise du temps par l'intermédiaire d'images fixes et structurées fonde les audaces autant qu'elle en reflète les soubresauts » (p. 119). Puis, il conclut : « Le Paléolithique supérieur, en brisant le lien entretenu par les Néandertaliens avec la nature, fait un pas de plus dans la modernisation de la pensée humaine » (p. 137).

Et, à la suite de cette conclusion, Otte donne, à *la quatrième partie* de son ouvrage, la qualification suivante : « L'équilibre naturel est rompu (*de 10 000 à 2 000 ans* [avant notre ère]) ». De façon étonnante, selon moi, il intitule « La fuite du paradis terrestre » le chapitre 7, qui concerne le Mésolithique. Il y décrit un monde en « pleine mutation », résultant exclusivement, selon lui, « d'une *révolution intellectuelle intense* et en constante quête de nouvelles raisons d'exister » (p. 157). Continuant à puiser dans le vocabulaire biblique, le préhistorien qualifie le chapitre 8, traitant du Néolithique et de la domestication, de « rupture de l'alliance »[1]. Il explique que, depuis lors, l'humanité forge « son existence *contre la nature* » (p. 179).

Ce livre comporte beaucoup d'illustrations. Et il est, dans l'ensemble, assez facile à lire. Toutefois la succession logique des idées n'est pas toujours évidente.

Par ailleurs, pour répondre à la question posée dans le titre, il me paraît particulièrement intéressant de prendre aussi en compte les conclusions d'autres disciplines scientifiques que la préhistoire. Et force est de constater qu'il est difficile de rendre le modèle proposé par cet ouvrage en parfaite adéquation avec les recherches et conclusions les plus récentes fournies notamment par les généticiens et les paléoanthropologues, qui sont totalement en faveur de l'*origine africaine des premiers hommes modernes européens*.

Cela étant, cet écrit de Marcel Otte arrive à point nommé, car il peut certainement aider à prendre du recul et à réfléchir aux crises (sanitaire et surtout climatique) auxquelles l'humanité doit faire face !

Marie d'Udekem-Gevers
Université de Namur

1. Il éclaire ainsi le sous-titre de son livre.

COMITÉ INTERNATIONAL (EN RECOMPOSITION) :

D. Lambert (Université de Namur)
G. E. Reyes (Université de Montréal)
J.-P. Luminet (Observatoire de Paris-Meudon)
Fr. Boitel (UMPC - Sorbonne)

COMITÉ DE RÉDACTION :

Astronomie : J.-R. Roy
Mathématique et informatique : J. Mawhin
Physique : J.-P. Antoine – Y. De Rop
Biologie : P. Devos
Médecine : NN.
Histoire des sciences : B. Van Tiggelen – B. Hespel
Philosophie des sciences : D. Lambert

CONDITIONS D'ABONNEMENT (2021, VOL. 192)

L'abonnement est annuel, à partir de janvier, et court jusqu'à ordre contraire.
Depuis le 1er juillet 2020 - «Régime particulier de franchise des petites entreprises»
Aucune TVA ne peut être portée en compte aux clients.

En Belgique et au Luxembourg	51,89 €
abonnement de soutien	150,00 €
abonnement étudiant	30,00 €
Pour la France	61,33 €
Pour les autres pays	75,48 €
Prix au numéro trimestriel	20,00 à 30,00 €
Pour paiement par chèque	ajouter 35,00 €

SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES :

61, rue de Bruxelles – 5000 Namur – Belgique
ING. (Avenue Marnix 24 B – 1000 Bruxelles)
IBAN : BE35 3500 0659 7537
BIC : BBRUBEBB
TVA : BE 0407 654 574

Revue publiée avec l'aide financière

- du Fonds National de la Recherche Scientifique
- de l'Université de Namur (ESPHIN)
- du Fonds Wernaers

HELHa
Haute École Louvain en Hainaut

BELGE SCIENCES
PLURIDISCIPLINAIRE
PHILOSOPHIE
HISTOIRE

FRANCOPHONE

HAUTE VULGARISATION
ACCESSIBLE
INFORMATIONS VALIDÉES
SCIENTIFIQUE

esphin
Espace philosophique de Namur

Revue des QUESTIONS SCIENTIFIQUES

ISSN 0035-2160

Actualité, histoire et philosophie des sciences

Tome 192 - 2021 - N°1-2

www.rqs.be

CE NUMÉRO : 30 €

shutterstock.com